

**Министерство образования и науки РФ
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»**

**Институт геологии и нефтегазовых технологий,
Центр дополнительного образования,
менеджмента качества и маркетинга**

СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Конспект лекций

Казань 2014

Загретдинов Р.В.

Спутниковые системы позиционирования. Конспект лекций / Р.В.

Загретдинов, Каз. федер. ун-т. – Казань, 2014. – 148 с.

В курсе рассмотрены принципы работы ГНСС GPS и ГЛОНАСС, описано преобразование координат и времени спутниковых навигационных систем, изложены принципы проектирования геодезических сетей, построенных с помощью спутниковых технологий. Большой акцент сделан на применение спутниковых методов в решении геодезических задач.

Курс рассчитан на студентов, занимающихся вопросами использования ГЛОНАСС/GPS и других ГНСС систем в геодезии и картографии. Курс ориентирован на формирование у слушателей таких профессиональных компетенций как способность к полевым и камеральным работам с использованием спутникового оборудования, обеспечению координирования нефте- и газопроводов, линий электропередач, обеспечения работ на шельфовой зоне, к проведению метрологической аттестации спутникового оборудования, готовность осуществлять контроль полученных спутниковых измерений.

Дистанционный курс не предполагает блока практических заданий. Практические навыки по проведению спутниковых геодезических измерений слушатели получают в процессе прохождения очной полевой практики. Материал можно изучать, используя электронную версию курса - <http://bars.kpfu.ru/course/view.php?id=1762>

© Казанский федеральный университет

© Загретдинов Р.В.

Направление подготовки:

120100 «Геодезия и дистанционное зондирование», курсы профессиональной переподготовки, 510 ч., Центр дополнительного образования, менеджмента качества и маркетинга, Институт геологии и нефтегазовых технологий, КФУ.

Дисциплина: «Спутниковые системы и технологии позиционирования»

Количество часов: 38 ч. (в том числе: лекции – 36, 2 – зачет)

Темы:

1. Глобальные спутниковые навигационные системы: элементы и принципы функционирования. 1.1. Основные сведения о глобальных навигационных системах и сферах их применения. 1.2. Элементы и принципы функционирования ГНСС. 1.3. Структура радиосигнала и факторы его искажающие. 1.4. Шкалы времени, системы координат, способы позиционирования ГНСС.
2. Организация, проведение и обработка спутниковых измерений. 2.1. Геодезическое спутниковое оборудование и его характеристики. 2.2. Этапы проектирования и организации спутниковых измерений. 2.3. Режимы статики и кинематики, обработка спутниковых измерений. 2.4. Спутниковые определения при создании государственных геодезических сетей.

Ключевые слова: *спутниковая навигационная система, орбитальная группировка, геометрия наблюдений, система координат, эфемерида, кодовое измерение, фазовое измерение, кодовая псевдодальность, несущая фаза колебаний, спутниковая аппаратура, метод пост-обработки, метод реального времени, базовая станция, подвижная станция, референцная станция, статический метод, кинематический метод.*

Дата начала использования: 15 января 2014 г.

Автор - составитель: Загретдинов Ренат Вагизович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры астрономии и космической геодезии института физики КФУ.

Содержание

Методические указания по изучению курса	5
Рекомендуемая литература	6
1. Глобальные спутниковые навигационные системы: элементы и принципы функционирования	8
1.1. Основные сведения о глобальных навигационных системах и сферах их применения	8
1.2. Элементы и принципы функционирования ГНСС	22
1.3. Структура радиосигнала и факторы его искажающие	41
1.4. Шкалы времени, системы координат, способы позиционирования ГНСС.....	51
2. Организация, проведение и обработка спутниковых измерений.....	65
2.1. Геодезическое спутниковое оборудование и его характеристики.....	65
2.2. Этапы проектирования и организации спутниковых измерений....	87
2.3. Режимы статики и кинематики, обработка спутниковых измерений.....	102
2.4. Спутниковые определения при создании геодезических сетей.....	117
Глоссарий основных терминов и понятий.....	144

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ КУРСА

Изучение дисциплины рассчитано на 36 академических часов. Материал разбит на модульные блоки, которые необходимо изучать в заданном порядке: от первого к последующему. В модульный блок входит материал, разбитый на темы, сформированные по принципу от простого к более сложному. Каждая тема состоит из лекционного материала, который дополнительно сопровождается материалами презентации, и блока контрольных тестов. Освоение каждого модуля дисциплины завершается прохождением итогового контроля знаний.

Рекомендуемый порядок освоения материала по модулям:

- изучение начинается с темы 1 и далее по возрастанию номера тем;
- требуется внимательное чтение и анализ лекционного материала желательно с привлечением дополнительной литературы;
- выполнение заданий контрольного блока.

После изучения и освоения всех тем модуля необходимо пройти итоговый контроль. Материалы следующего модуля будут доступны только после выполнения контрольного блока. Таким образом, перейти к освоению следующего модуля дисциплины можно будет только после успешного прохождения итогового контрольного блока предыдущего модуля. Время освоения дисциплины по времени рассчитано примерно на месяц. Поэтому для соблюдения данного срока необходимо заниматься не менее 2 часов в день.

Данный дистанционный курс не предполагает выполнения практических заданий. Практические навыки по проведению спутниковых геодезических измерений слушатели получают в процессе прохождения очной полевой практики.

Для освоения дисциплины рекомендуется также использовать дополнительную печатную и электронную литературу.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература

1. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Монография. Том 1 и 2. К.М.Антонович. Москва. «ФГУП Картгеоцентр», 2006.
2. Генике, Аркадий Александрович. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии / А. А. Генике, Г. Г. Побединский.—Изд. 2-е , перераб. и доп..—М.: Картгеоцентр, 2004.—350, [1] с.: ил.—Библиогр.: с. 343-347.—ISBN 5-86066-063-4.
3. Поклад, Геннадий Гаврилович. Геодезия. - Москва: Акад. Проект, 2007.—589,[1] с.: ил., табл.; 25.—(Учебное пособие для вузов).—(Gaudeamus).—Библиогр.: с. 573-574 (27 назв.).—Предм. указ.: с. 575-580.—ISBN 5-8291-0781-3.
4. Поклад Г.Г., Гриднев С.П. Геодезия, учебное пособие для ВУЗов М.: Академический Проект, 2007, 592с.
5. Электронные журналы: Геопрофи (<http://geoprofi.ru/>), Пространственные данные (<http://www.gisa.ru/pd.html>).
6. Гарбук, С.В., Гершензон, В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. - М.: Издательство А и Б, 1997. - 296 с. URL <http://gis-lab.info/docs/books/rs-satsen/rs-satsen.zip>
7. ГОСТ Р 52928-2008 Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения <http://gis-lab.info/docs/law/gost52928-2005.pdf>
<http://www.ipa.nw.ru/conference/kvno2011/programma.htm>
<http://www.agiks.ru/data/konf/page35.htm> ; <http://www.sunhome.ru/journal/58908>

б) дополнительная литература

Белов И.Ю., Загретдинов Р.В., Кашеев Р.А, Учебно-методическое пособие к курсам повышения квалификации «Современные геодезические,

космические и геоинформационные технологии в нефтяной и газовой отрасли», 2013, 56 с.

Загретдинов Р.В. Планирование спутниковых геодезических измерений, электр. пособие, 2013, 26 с.

Загретдинов Р.В. Создание опорных геодезических сетей с помощью ГНСС, электр. пособие, 2013, 26 с.

в) программное обеспечение:

программные комплексы Trimble Business Center (TRIMBLE)

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

www.gpsworld.com

www.roscosmos.ru

Лекция 1.1. Основные сведения о глобальных навигационных системах и сферах их применения.

Содержание.

1. История развития GPS.
2. История развития ГЛОНАСС
3. Сферы применения ГНСС-технологий
4. Преимущества спутниковой навигационной системы

Спутниковые методы определения пространственных координат широко используются в современной геодезии. В США развернута система GPS (Global Positioning System), в России действует система ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система), в Европе - спутниковая система Galileo. Все названные системы могут быть объединены термином GNSS (Global Navigation Satellite System), т. е. глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). GNSS-технологии успешно применяются в тех областях, где необходима точная информация о пространственном положении объектов на Земле, их размерах и изменении геометрических параметров во времени.

Что понимают под обобщенным термином позиционирование? Позиционирование – это реализация возможных способов использования данной системы для определения параметров пространственного состояния объектов наблюдения. Такими параметрами могут быть координаты приемника, вектор скорости его перемещения, пространственный вектор между двумя приемниками, точное время позиционирования. Данные параметры представляют собой так называемый вектор потребителя. Следовательно, определение местоположения объекта, его скорости, пространственного вектора между пунктами наблюдения, фиксация точного времени представляют собой частные случаи позиционирования. На пунктах наблюдения позиционирование выполняется при помощи приемников. Если из контекста неясно, о каких приемниках идет речь, то добавляется аббревиатура системы: GPS-приемник, ГЛОНАСС-приемник, ГЛОНАСС/GPS – приемник, GNSS-приемник или просто спутниковый приемник

История развития ГНСС связана с разработкой радионавигационных систем, основанных на радиомаяках, которые с приемлемой точностью решали задачу курсоуказания движения объекта, но не позволяли решить задачу точного позиционирования на местности, т.е. определения долготы и широты объекта. Проблема состоит в том, что не существует антенн с идеальной диаграммой направленности, и чем

острее направленность антенны, тем сложнее ее конструкция. Кроме того, если надо, чтобы система позиционирования действовала за пределами оптической видимости, то необходимо использовать достаточно длинные радиоволны, способные огибать горизонт. Но чем больше длина волны, тем большие физические размеры должна иметь идеальная направленная антенна. Поэтому точность действия направленной антенны ограничена ее разумными конструктивными размерами. На расстояниях до радиомаяков, исчисляемых сотнями километров, погрешности измерения азимута в доли градуса проецируются в погрешности измерения позиционирования, исчисляемые сотнями метров. На протяженных воздушных трассах погрешность позиционирования летательного аппарата достигает нескольких километров по величине бокового отклонения от трассы.

Следовательно, для успешного решения задачи позиционирования необходимо измерять дальности, т.е. расстояния между приемником и передатчиками. Зная лишь дальности до трех передатчиков, расположенных в одной плоскости с приемником, можно однозначно решить задачу позиционирования. Координаты объекта являются координатами точки пересечения воображаемых окружностей с радиусами R_1 , R_2 и R_3 , равными дальностям (рис. 1). Третий передатчик необходим для устранения возможной неоднозначности, возникающей при пересечении двух окружностей. Очевидно, что в случае с измерением дальностей направленность действия приемной антенны не влияет на точность позиционирования. Но решающее значение приобретает точность синхронизации шкал времени передатчиков и приемника, а также величина погрешности, возникающей при измерении времени распространения сигнала.

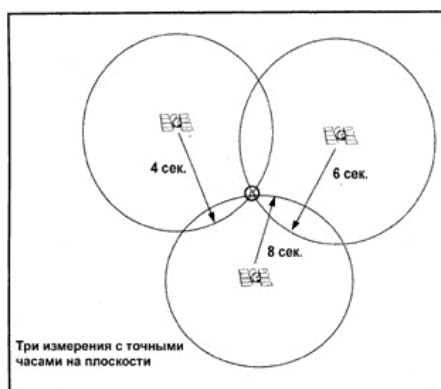


Рис. 1. Координаты объекта как координаты точки пересечения воображаемых окружностей с радиусами R_1 , R_2 и R_3 , равными дальностям.

Появление в 1960-х годах чрезвычайно точных атомных часов позволило существенно снизить погрешности дальномерного метода, до уровня, достаточного для широкого применения его на практике. В радиолинии навигационный спутник - потребитель

происходит однонаправленный процесс передачи информации. ИСЗ выступает в качестве радиомаяка-передатчика, потребитель - в качестве приемника.

GPS (Global Positioning System) разработана и обслуживается Министерством обороны США, также известна у военных под кодовым названием **NAVSTAR** (Navigation Satellite Timing and Ranging). Проект запущен в 1978 г. Первая штатная орбитальная группировка системы разворачивалась с июня 1989 г. по март 1994 г. Первоначально на орбиту были выведены 24 космических аппарата типа "Block II". Окончательный ввод GPS в эксплуатацию состоялся в 1995 г.

Практическим воплощением дальномерного метода в США является морская навигационная система LORAN (Long Range Aid to Navigation - Навигационное оборудование дальнего радиуса действия), имеющая чрезвычайно большое значение в истории развития GPS, поскольку в ней впервые было использовано определение времени прохождения сигнала от передатчика до приемника, получившее дальнейшее развитие в системах спутниковой навигации. Начиная с 1960-х годов Министерство обороны США начало развивать идею создания глобальной, всепогодной, непрерывно доступной, очень точной системы навигации и позиционирования радиосигналов, излучаемых со спутников. Толчком к такому пути развития послужил запуск Советским Союзом первого искусственного спутника в 1957 г.

Военно-морские силы финансировали две программы, ставшие предшественниками GPS: Transit, Timation. Система Transit стала первой действующей спутниковой навигационной системой. Разработанная в 1964 г. система Transit состояла из 7 низкоорбитальных спутников, которые излучали очень стабильные радиосигналы. Несколько наземных станций слежения контролировали и корректировали параметры орбиты. Пользователи системы Transit определяли свои координаты на земной поверхности, измеряя доплеровский сдвиг частоты от каждого спутника. Вес первых спутников составлял 56 кг, рабочие частоты - 150 и 400 МГц (две частоты для компенсации ионосферных искажений). Метка времени передавалась каждые 2 минуты, что позволяло синхронизировать часы по всему миру с точностью около 50 мкс. С темпом раз в 2 минуты формировалось и решение навигационной задачи приемниками - по методу наименьших квадратов выбирались координаты потребителя, наиболее подходящие для полученной кривой изменения Доплеровской частоты. В зависимости от длительности наблюдения и скорости потребителя погрешность определения положения составляла от 100 до 500 метров.

Изначально разработанная Военно-морскими силами для управления подводными лодками с баллистическими ракетами Polaris на борту и иными военными объектами,

находящимися на поверхности океана, в 1967 г. система Transit стала доступна для гражданских пользователей. Она была очень быстро приспособлена для навигации больших коммерческих судов и небольших частных катеров и яхт. Причем число гражданских пользователей быстро превысило число военных. Не последнюю роль сыграла невозможность избирательно ограничивать доступ к системе. Тем не менее, заложенные в Transit новые технологии были очень важны для последующего развития GPS. Так, например, в GPS используется алгоритм предсказания спутников, впервые разработанный для Transit.

Второй предшественник GPS - программа Timation стартовала в 1964 г. и включала в себя запуск двух искусственных спутников, несущих на борту разработанные ранее сверхстабильные часы, передачу со спутника прецизионных сигналов точного времени и определение двухмерных координат приемника. Основная идея состояла в использовании синхронизированных передатчиков, излучающих закодированный сигнал. Измеряя задержку прохождения сигнала от спутников, имеющих заранее известные координаты, можно вычислить расстояние до спутников и рассчитать на основании этого координаты приемника. Таким образом, был заложен и экспериментально опробован базовый принцип работы GPS.

Первый спутник, системы Timation запущенный в 1967 г., нес на борту сверхстабильные кварцевые часы, последующие модели использовали атомный стандарт частоты (рубидиевый и цезиевый). Атомные часы позволили значительно улучшить предсказание орбит спутников и существенно увеличить промежуток между корректировками спутниковых часов с наземного пункта управления. Эти передовые разработки космического стандарта времени явились важнейшим вкладом в создании GPS. Фактически, последние два спутника системы Timation являлись действующими прототипами спутников GPS.

В 1972 г. была продемонстрирована работа системы, использующей новый метод разделения сигналов спутников - кодовое разделение на основе псевдослучайного, шумоподобного сигнала. В этом варианте все спутники излучают на одной несущей частоте, которая модулируется сверхдлинным псевдослучайным кодом (ПСК), индивидуальным для каждого спутника. Спектр такого сигнала весьма похож на спектр случайного шума с нормальным законом распределения (Гауссовым), отчего сигнал и получил название шумоподобного.

Использование псевдослучайного кода позволяет значительно увеличить помехоустойчивость и передавать в сигнале информацию о положении спутников (эфемериды) и метки точного времени. Также при использовании псевдослучайного

кодирования легко решается проблема ограничения доступа. В простейшем случае, коды могут быть как открытыми для общего пользования, так и секретными. Гражданским пользователям доступны только открытые коды, поэтому достаточно по команде с наземного пункта управления внести преднамеренные погрешности в информацию, передаваемую открытыми кодами, как работоспособным остается только военное оборудование, а гражданские приемники перестанут функционировать с приемлемой точностью.

Для испытания технологии ПСК американские ВВС произвели серию экспериментов на испытательном полигоне Белая Пустыня в Нью-Мехико. Для имитации спутников использовались передатчики, размещенные на воздушных шарах и самолетах. Экспериментальное оборудование позиционировало самолет с точностью до сотых долей мили. Одновременно была сформулирована концепция глобальной системы из 16 спутников на геостационарных орбитах, чьи проекции на земную поверхность образовывали четыре овальных кластера, вытянутых на 30 градусов севернее и южнее экватора. Эта особая геометрия допускала последовательное развитие системы, поскольку для демонстрации реальной работоспособности было достаточно четырех спутников. Следовательно, один полный кластер из четырех спутников обеспечивал 24-часовое покрытие определенного географического региона (например, Северной или Южной Америки).

Система, построенная по сформулированной концепции, теперь известна, как система глобального позиционирования NAVSTAR. Самые первые спутники NAVSTAR известные ныне, как технологические спутники №1 и №2, несли на борту атомные часы, первые из когда-либо запущенных в космос. Несмотря на то, что эти экспериментальные спутники функционировали лишь в течение короткого периода времени между запусками в 1974 и 1977 гг., они позволили опробовать метод измерения дальности с использованием широкополосного радиосигнала и прецизионных меток времени, получаемых от орбитальных атомных часов. В качестве первого атомного стандарта использовался рубидиевый стандарт, затем более точные цезиевый и водородный.

Несколько позже были запущены и протестированы спутники GPS, известные, как "Блок 1". Эта серия спутников поддерживала выполнение большинства программ для испытания системы. Между 1978 и 1985 гг. одиннадцать спутников, построенных компанией Rockwell International, были выведены на орбиту носителем Atlas-F, один спутник был утрачен из-за аварии при запуске. Остальные постепенно утратили пригодность из-за ухудшения точности атомных часов или поломки системы контроля высоты. Тем не менее, многие из спутников первого блока прослужили значительно

дольше, чем подразумевавшиеся при разработке три года - в некоторых случаях более десяти лет. Эволюция спутников NAVSTAR: Block I, Block IIA, Block IIR, Block IIR-M, Block IIF, Block III.

ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) стала разрабатываться в СССР также, как и GPS, в середине 70-х гг. и в 1993 г. была официально принята в эксплуатацию министерством обороны РФ.

В 1957 г. в СССР группа учёных под руководством В. А. Котельникова экспериментально подтвердила возможность определения параметров движения искусственного спутника Земли (ИСЗ) по результатам измерений доплеровского сдвига частоты сигнала, излучаемого этим спутником. Была установлена и возможность решения обратной задачи — нахождения координат приёмника по измеренному доплеровскому сдвигу сигнала, излучаемого с ИСЗ, если параметры движения и координаты этого спутника известны.

В 1964 г. началась разработка аналогичной Транзиту отечественной спутниковой навигационной системы. Она сменила множество названий в процессе своей эволюции, наиболее известное - "Циклон". В конце 1967 г. был запущен первый спутник системы, [Космос-192](#). Вид спутникового созвездия постепенно менялся. К моменту принятия на вооружение, которое состоялось в 1976 г., тип и количество орбит повторяли американскую систему Транзит - 6 спутников на 6 околополярных орбитах, сдвинутых по углу восходящего узла на 30 градусов. Высота орбит - 1000 км, наклонение 83 градуса. В 1976 г. военная группировка спутников начала дополняться ещё 4 аппаратами, образующими систему "Цикада" гражданского назначения. Военные потребители начали использовать все 10 спутников. К распаду СССР успели запустить 121 спутник - 99 системы Циклон и 22 системы Цикада. Были достигнуты аналогичные Транзиту показатели точности.

Система ГЛОНАСС создавалась с начала 70-х годов большой кооперацией научных гражданских и военных организаций. Первые космические аппараты серии ГЛОНАСС («Космос-1413», «Космос-1414», «Космос-1415») были выведены на орбиты 12 октября 1982 года. Запуск осуществляется ракетоносителями «Протон» с космодрома Байконур. В декабре 1995 года было завершено полное развёртывание орбитальной группировки системы ГЛОНАСС, что позволило создать сплошное глобальное навигационное поле вплоть до высот 2000 км. Несущая частота сигналов составляла около 150 МГц (позже добавлена вторая несущая 400 МГц), использовалось частотное разделение сдвигом на 30 кГц. Эволюция спутников системы ГЛОНАСС: Ураган, Ураган-М, Ураган-К.

В 2013 - 2014 гг. намечен запуск усовершенствованного спутника «Глонасс-К2», доработанного по результатам испытаний КА «Глонасс-К1». В дополнение к открытому сигналу в диапазоне L3, появится открытый сигнал в диапазоне L1. В 2015 - 2017 гг. появится усовершенствованный спутник «Глонасс-КМ». Предположительно, в новых спутниках будет использоваться до 8 сигналов в формате CDMA, которые заменят сигналы FDMA. После полного перехода на CDMA сигналы, предполагается постепенное увеличение количества КА в группировке с 24 до 30 и полное отключение FDMA сигналов.

Система ГЛОНАСС одобрена международными организациями морского флота (ИМО) и гражданской авиации (ИКАО), как один из элементов Глобальной навигационной спутниковой системы наряду с американской системой GPS. В 1994 году система ГЛОНАСС запатентована в США.

В течение ближайших лет Европейский Союз (EU) и Европейское космическое агентство (ESA) планируют ввести в эксплуатацию новую европейскую глобальную спутниковую навигационную систему Galileo («Галилео»). Существование еще одной рабочей спутниковой системы GNSS обещает значительную выгоду для гражданских потребителей по всему миру. Запуск проекта Galileo позволит увеличить более чем в два раза количество рабочих навигационных спутников, доступных пользователям. Подобное увеличение количества спутников принесёт пользу не только при работе в автономном режиме, но и улучшит качество определения координат и способность GPS-аппаратуры разрешать неоднозначность по фазе несущей для отслеживаемого спутникового сигнала. Сравнительные характеристики GPS и Galileo (по одной частоте) приведены ниже.

Параметры	GPS	Galileo
Количество спутников	27	30
Количество орбитальных плоскостей	6	3
Разделение спутников по орбитальным плоскостям	Неравномерное	Равномерное
Наклон орбитальных плоскостей	53-56°	54°
Радиус орбиты	26561,75 км	29378,137 км
Используемая частота	L1 (1575,42 МГц)	E1 (1575,42 МГц)

В перспективе комбинированный приёмник пользователя, принимающий и дешифрирующий сигналы трёх независимых СРНС Galileo, GPS и ГЛОНАСС, получает техническую возможность одновременно наблюдать и использовать для позиционирования и навигации более 30 НКА разных систем без потери реальной способности вычисления координат в любых условиях затенения горизонта в городах,

горных и лесных массивах. Вероятней всего, в течение ближайших двух-трех лет комбинированные мульти-GNSS системы вытеснят односистемные (к примеру, вместо приемников GPS будут использоваться приемники GPS/ГЛОНАСС). И не потому, что это приведет к решению проблемы навигации в помещениях, а потому, что это дает реальное преимущество при плотной застройке.

В настоящее время применение ГНСС-технологий находит свое широкое применение во многих сферах жизни общества и отраслях экономики:

- Вооруженные силы
- Синхронизация систем связи и энергетики
- Геодезия: с помощью приемников ГЛОНАСС и ГЛОНАСС\GPS определяют точные координаты точек и границы земельных участков
- Картография: ГЛОНАСС используется в гражданской и военной картографии
- Тектоника: с помощью спутников ведутся наблюдения движений и колебаний тектонических плит
- Навигация: с применением глобальных систем позиционирования осуществляется как морская, так и дорожная навигация
- Спутниковый мониторинг: проект ЭРА-ГЛОНАСС — мониторинг положения, скорости автомобилей, контроль за их движением
- Мониторинг сложных инженерных сооружений
- Мониторинг животных, защита окружающей среды
- Обеспечения поиска и спасания людей

Преимущества спутниковой навигационной системы состоят в следующем. Во-первых, истинную глобальность навигационного сервиса может обеспечить только использование спутников, так как любая другая система заведомо будет иметь локальный характер. Наземные станции можно разместить только на территории своей страны или дружественных стран, морские просторы в этом случае вообще не поддаются полному охвату. Во-вторых, использование станций, находящихся на земной поверхности, не позволяет с необходимой точностью определять высоту объекта. Кроме того, использование спутников, излучающих сверхвысокока частотный сигнал, позволяет сделать пользовательское оборудование по-настоящему мобильным. Мобильность повышается также за счет того, что максимально возможная функциональная нагрузка вынесена на спутники и наземные станции управления, а мобильное приемное устройство должно произвести лишь окончательную обработку заранее подготовленной информации.

Как это часто случается, потребности стимулируют появление новых возможностей, а новые возможности, в свою очередь порождают новые идеи и потребности. Так,

например, с появлением портативных приемников GPS возникла идея создания принципиально новой автомобильной системы безопасности. Такая система способна решать следующие задачи:

- управление движением транспортных средств,
- управление общественным транспортом,
- операции коммерческого транспорта,
- обеспечение электронных платежей,
- обеспечение безопасности и снижение аварийности,
- исследования и развитие.

Хорошая автомобильная система навигации представляет собой развитый информационный комплекс, в котором привязка объекта к координатам играет едва ли не вспомогательную роль. Такие функции обеспечиваются типовым составом оборудования легкового автомобиля, такого, как радиоприемник, мобильный телефон, приемник СРНС, одометрическая и курсовая системы, база данных и программное обеспечение, система оповещения об авариях, ПК с мультимедийными средствами (персональный органайзер, DVD), радар, датчики и самописец - "черный ящик", аналогичный аварийному самописцу в авиации или регистратору данных о рейсе на морских судах.

Наиболее важными являются средства навигационного комплекса с приемником СРНС и средства связи. Для использования создан ряд отечественных комплексов оборудования. Так, НПП "Термотех" создана система "ИНС-Контроль" серии ТТ5300 и ТТ5100, объединяющая аппаратуру спутниковой навигации, связи и измерений. Зона действия системы определяется только используемым каналом связи (выделенным, транкинговым, сотовым или спутниковым). Интегрированные навигационные системы (ИНС-контроль) серии ТТ5100 и ТТ5300 фирмы "Термотех" предназначены для навигации с помощью ГЛОНАСС/GPS, записи и передачи информации на посты контроля. Функциональные возможности системы: определение координат в автономном и дифференциальном режимах работы; слежение и управление мобильными объектами, контроль состояния систем; передача текстовых и формализованных сообщений; отображение и обработка информации о позиционировании и состоянии мобильных объектов; сбор, обработка и отображение информации о состоянии окружающей среды).

Существенным обстоятельством следует считать требование сертификации в Российской Федерации нового каналобразующего оборудования. Ориентировочная стоимость навигационно-коммуникационного модуля для работы по системам ГЛОНАСС и GPS с передачей различной информации (координаты, точное время и другие данные) оценивается в 1000... 1500 евро. Для обеспечения наземных транспортных средств фирмой

Trimble созданы аналогичные комплекты оборудования Galaxy Inmarsat-C/GPS Land Mobile Station со связной станцией Inmarsat-C и CrossCheck™ XR с оборудованием GSM.

Как правило, автолюбителю более важно знать расстояние до заправки, гостиницы и т.д., нежели широту и долготу своего местоположения. Поэтому современные автонавигаторы используют компакт-диски, на которых кроме набора карт записана самая различная информация справочного и рекламного свойства, вплоть до фотографий внешнего вида зданий, чтобы облегчить автомобилисту ориентацию в незнакомом городе. Сокращенно этот сервис называется IIS - Integrated Information System. Если на суше GPS действительно может восприниматься, как дополнительное устройство, то в открытом море система спутникового позиционирования почти незаменима.

Появилась возможность принципиально перестроить систему управления движения поездов, размещая на них приемники ГНСС. В ряде стран идут активные работы по применению спутниковых навигационных технологий на железнодорожном транспорте. Так, планы создания национальной дифференциальной подсистемы GPS (NDGPS) стали частью закона о развитии транспорта на 1998 г. РФ. Инициатива в проведении этих работ исходила из таких организаций, как Федеральная администрация высокоскоростного транспорта, Федеральная железнодорожная администрация и Агентство по точному управлению поездами. Аппаратура СРНС, позволяющая определять координаты и скорость движения локомотива (состава), может наряду с соответствующими средствами связи стать основой построения центров управления перевозками (ЦУП), работающими в реальном времени. ЦУП и диспетчерский центр призваны контролировать дислокацию составов на трассе, автоматически строить график исполненного движения, управлять скоростью движения, передавая команды на локомотив.

При помощи навигационно-информационных комплексов (НИК) должны решаться задачи: повышения безопасности движения; обеспечения оптимальных режимов ведения поезда; обеспечения навигационного сопровождения локомотива; контроля позиционирования и скорости поезда на электронной карте диспетчерского центра железной дороги; автоматического ведения "скоростимерной ленты" и графика исполненного движения. В состав НИК должны входить база данных ж/д и маршрутное задание машиниста. БД содержит информацию о всех особенностях пути, например, сведения о координатах границ блок-участков, данные о вертикальном (уклон) и горизонтальном (кривые) профиле пути, ограничения скорости на перегонах, координаты, названия и схемы станций, расстояния до мест ограничений и повышенного внимания. Комплексное использование данных приемника СРНС и информации БД позволяет

осуществлять непрерывное и надежное навигационное обеспечение локомотива в условиях местности со сложным рельефом, приводящем к потере радиовидимости НКА в таких местах, как туннели, ущелья и др.

Специалисты, работающие в области навигации на ж/д, сознают необходимость обеспечения непрерывности навигационных определений, которая может быть нарушена при прохождении туннелей, горных ущелий и т.д. Поэтому рационально использование на железнодорожном транспорте интегрированной системы, включающей одометрический датчик, БИНС на лазерных гироскопах Sigma-40 фирмы Sagem и аппаратуру спутниковой навигации Trimble-12.

В настоящее время GPS используется для решения такой чрезвычайно критичной задачи, как автоматическое выведение летательных аппаратов на посадочную глиссаду и далее до точки касания со взлетно-посадочной полосой. Разумеется, в этом случае к системе предъявляются особо жесткие требования и применяются специальные функциональные дополнения. Например, дополняющим компонентом может быть точно позиционированный наземный передатчик, имитирующий сигнал спутника (псевдолит).

Оборудование спутниковой навигации нашло широкое применение и рассматривается в качестве штатного для морских и воздушных судов, причем даже не самого высокого класса, космических аппаратов. Оно стало привычным средством в землеустройстве, при мониторинге, съемках местности и геодезических работах.

Любая карта, являясь условным изображением реальной местности, во-первых, должна быть точно привязана к системе координат «широта/долгота». Привязку карты можно выполнять традиционными способами, при помощи угломерных методов, для чего требуются точные часы и прибор, замеряющий в данный момент времени положение Солнца на небосводе. Такой метод требует достаточно громоздкого оборудования, кропотливой работы, специальных навыков и дает точность, недостаточную для множества современных применений. Теперь для геодезических целей существует специальное оборудование на базе дифференциальных подсистем GPS, позволяющее позиционировать контрольные точки с точностью до доли сантиметра. Причем автоматически измеряются не только координаты на земной поверхности (долгота/широта), но и высота над уровнем моря.

Выпуск сравнительно недорогой потребительской аппаратуры обусловил начало её вхождения в наш быт, спорт, туризм и путешествия. Объединение спутниковых навигационных и мобильных телекоммуникационных технологий определяется стремлением обеспечить пользователя точным знанием места для его обращения к информационным источникам и эффективной работы службы спасения. Таким образом,

спутниковые приемники начали вторжение в область связи, обработки и передачи данных, информационных технологий и интернет.

Вслед за GNSS в ряду технологий, используемых для позиционирования, стоит технология беспроводных локальных сетей, известная для общественности как Wi-Fi. Применять ее для позиционирования стало возможно благодаря использованию базы данных MAC-адресов и позиций. Когда мобильные устройства попадают в зону действия точки доступа Wi-Fi, им передаются данные о расположении этой точки доступа. Результирующее положение мобильного устройства определяется методом усреднения, и в местах с большим количеством точек точность позиционирования составляет десятки метров. Позиционирование посредством Wi-Fi используется во многих смартфонах наряду с GPS. Точность позиционирования с использованием этой технологии достаточно высока, и это существенно помогает там, где сигнал GPS слабый (в особенности это касается городов). Несколько крупных компаний, включая Apple, Broadcom и Google, имеют базы данных точек доступа с данными по местоположениям и используют их в своих мобильных устройствах.

Акселерометры и гироскопы, которые относят к микроэлектромеханическим системам (MEMS), представляют собой датчики с подвижными частями, благодаря которым можно определить ориентацию устройства в пространстве или его движение. Оба датчика нашли широкое применение в смартфонах, где они используются для того, чтобы установить правильную ориентацию экрана (книжную или альбомную), а также для игр. Поскольку они уже и так включены в устройство, они являются естественным дополнением к технологии позиционирования, и многие компании стараются связывать датчики движения с GPS для улучшения точности в помещениях и городских районах. В качестве примера использования датчиков движения в качестве дополнения к технологии GPS приводится следующий рисунок. На нем представлены реальные данные, полученные в ходе испытаний в районе с плотной высотной застройкой. Данный принцип дополнения уже сейчас используется в смартфонах и некоторых навигаторах.

Аналогично акселерометрам и гироскопам, магнитный компас также уже встроен во многие смартфоны. Для определения магнитного севера используются различные технологии, включая датчики Холла, индукционный компас, а также MEMS. На производительность таких устройств в известной мере влияет близкое расположение металлических предметов, и еще большее влияние оказывают расположенные неподалеку магниты. Пользователи могут не замечать магниты вокруг себя, но их достаточно много в современном техническом окружении, особенно в автомобиле. Любая система для воспроизведения звука содержит магнит, и чем мощнее система, тем сильнее магнит.

Исходя из этого, магнитные датчики сами по себе не слишком надежные помощники в позиционировании, но в сочетании с другими датчиками – гироскопами и акселерометрами – могут быть очень полезными, особенно в приложениях для пешеходов.

Альтиметры представляют собой еще один вид датчиков семейства MEMS. Обычно принцип действия их основан на измерении уровня деформации индикаторной поверхности в результате атмосферного давления с помощью пьезоэлектрических датчиков. Интеграция альтиметра с GPS уже хорошо зарекомендовала себя в таких устройствах, как туристические навигаторы. Подобная интеграция также оправдывает себя в других потребительских устройствах, особенно в смартфонах.

Три сотовых беспроводных технологии AFLT, MRL и Cell-ID являются составляющими A-GPS.

AFLT используется в телефонных системах CDMA, где вышки сотовой связи точно синхронизированы по времени GPS. Благодаря точной синхронизации времени можно воспользоваться сотовым сигналом для измерения расстояния от базовой станции, используя временные задержки по аналогии с GPS. CDMA телефоны с GPS обычно используют AFLT при позиционировании внутри помещений.

MRL является аналогией AFLT для UMTS и не синхронизированных систем. MRL представляет список соседних базовых станций и мощность сигнала от них. Уровень мощности используется для оценки расстояния и определения позиции. Точность такого способа позиционирования не настолько хороша по сравнению с AFLT, но может быть меньше ста метров, особенно в крупных городах. Такой точности уже достаточно для работы приложений позиционирования при чрезвычайных ситуациях, таких как E-911.

Cell-ID представляет собой простой поиск в базе данных позиции, соответствующей коду ID. Эта технология аналогична позиционированию с помощью Wi-Fi, но гораздо менее точна, поскольку радиус охвата соты гораздо больше радиусу охвата точки доступа Wi-Fi. Но все же, данная технология лежит в основе других, более продвинутых технологий позиционирования. Так, для работы AFLT и MRL требуется Cell-ID в качестве необходимого компонента.

Позиционирование с помощью цифрового телевидения (DTV) осуществляется с помощью оценки расстояния от башни DTV, аналогично GPS и AFLT. Однако DTV башни не синхронизированы друг с другом точно, и позиционирование по BEM требует построения инфраструктуры, связывающей смещения часов на различных башнях. Позиционирование с DTV в некотором смысле является противоположностью Cell-ID. Несмотря на небольшую точность, Cell-ID используется очень широко, в то же время как DTV может быть точной, как GPS, но экономически провалился. Но, даже учитывая это, в

будущем у технологии позиционирования с помощью DTV есть неплохие шансы получить второе дыхание: популярность цифрового телевидения и радиовещания в последнее время возросла.

Псевдоспутники, или псевдолиты (от англ. pseudolites) транслируют GPS-подобные сигналы с наземных передатчиков. Обычно эти сигналы несколько отличаются от сигналов GPS по частоте, однако в остальном они абсолютно схожи и могут приниматься обычным GPS приемником без дополнительного оборудования. Точность позиционирования по псевдолитам может достигать пяти сантиметров при измерении фазы несущей. Для работы необходимо сложное и точное оборудование передатчиков, что сильно повышает стоимость. Однако псевдолиты высоко ценятся и занимают свою нишу на рынке.

Технология IMES позволяет реализовать полноценное позиционирование внутри помещений, и с этой точки зрения она наиболее интересна из всех. IMES использует маяки – радиопередатчики, выдающие очень слабый сигнал, который предназначен только для передачи данных (но не для определения расстояния, и в этом ее основное отличие от псевдолитов). Мощность каждого передатчика IMES настолько низка (от 0,1 до 0,4 нановатт), что сигнал может быть принят только в радиусе 10 метров от передатчика. Сигнал модулирован кодированными PRN (PRN числа с 173 по 182) данными, содержащими информацию о местонахождении передатчика. Система позиционирования работает по принципу «если ты меня слышишь, то ты здесь». Как очевидно, точность такой системы не превышает десяти метров. Сообщения, транслируемые передатчиком, содержит широту, долготу и номер этажа. IMES может работать с любым GPS приемником, который способен декодировать последовательность PRN. Поскольку необходимость синхронизации передатчиков отпадает, стоимость одного передатчика становится невысокой. Однако для работы системы требуется установка большого количества передатчиков (по крайней мере один на 10 квадратных метров), что сопрягается с большими усилиями на развертывание системы. В приложении к документации на систему QZSS описана система IMES, но когда и как она будет развернута – остается вопросом.

Таким образом, GPS дает отличные результаты позиционирования в случае прямой видимости достаточного количества спутников. В последние десятилетие неплохие результаты показывает A-GPS, и именно благодаря этому она стала преобладающей технологией на потребительских платформах, таких как смартфоны и планшеты. Но до сих пор у разработчиков остро стоят вопросы позиционирования в условиях городской застройки и в помещениях. Поиск ответов на эти вопросы приводит нас к другим

технологиям. Можно достичь желаемого увеличением количества спутников, датчиков и беспроводных методов позиционирования. Наиболее существенным дополнением к GPS в ближайшие годы будут ГЛОНАСС и QZSS, а также технологии MEMS, магнитные датчики, Wi-Fi и сотовые технологии позиционирования. Условно говоря, если 1960-е и 70-е годы были годами зарождения концепции GPS, 1980-е годы – десятилетием ее развития и рождения, 1990-е – годами введения в свет, с 2000-ого года длилось десятилетие адаптации на массовом рынке, то в 2010-х годах нас ждет десятилетие GPS-плюс: развитие других GNSS и ее технологий.

Пояснения к терминологии.

Множество технических терминов, обозначающих практически одно и то же СРНС, СРСЦ, ГНСС и т.д., отличаются подчеркиванием той или иной особенности системы: *глобальная* - возможность получать сервис от системы в любой точке земного шара; *спутниковая* - в качестве маяков в системе используются искусственные спутники Земли; *навигационная* или *позиционирования* подчеркивает назначение системы для позиционирования и навигации; *радио*, использующая радиосигналы.

Примерные контрольные тесты.

1. *Расшифруйте аббревиатуру GNSS*
2. *К параметрам пространственного состояния объектов наблюдения в ГНСС не относится*
Вектор сближения меридианов двух объектов
вектор скорости перемещения объекта,
пространственный вектор между двумя приемниками,
точное время позиционирования.
3. *Радионавигационная система (РНС) США, контролирующая весь земной шар называлась*
Омега
Транзит
Цикада
Полярис
4. *Прообразом ГНСС является*
радионавигационная система
электронавигационная система
международная служба радио интерферометрии
5. *Точность ГНСС первого поколения в плановых координатах составляла*
До 100 м
До 10 м
До 1 м
До 0,5 м

Лекция 1.2. Элементы и принципы функционирования ГНСС

Содержание

1. Подсистема космических аппаратов.
2. Подсистема контроля и управления.
3. Подсистема навигационной аппаратуры потребителей.

В структуре спутниковых навигационных систем можно выделить три основных сегмента (рис. 1):

- Подсистема космических аппаратов
- Подсистема контроля и управления
- Подсистема навигационной аппаратуры потребителей

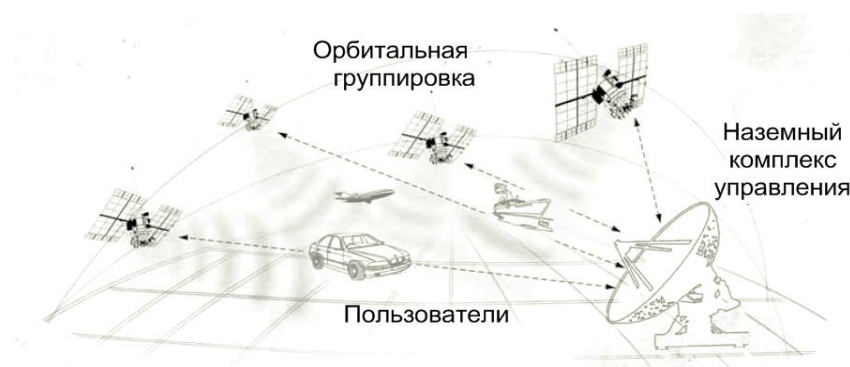


Рис. 1. Структура спутниковых навигационных систем

Подсистема космических аппаратов. Основная функция навигационных спутников – это формирование и излучение радиосигналов, необходимых для координатно-временного обеспечения потребителей и контроля бортовых систем спутника подсистемой контроля и управления СРНС. Как и в системах первого поколения СНС, спутник выступает в качестве движущегося радиомаяка с известными координатами. При разработке системы ГЛОНАСС исследования показали, что компромисс между потребительскими качествами навигационной системы и её сложностью достигается при размещении спутников на круговых траекториях высотой 19000—20000 км с наклоном около 64° . Влияние атмосферы здесь уже незначительно, а гравитационные возмущения со стороны Луны и Солнца еще не приводят к быстрым изменениям орбиты.

Теоретически на такой высоте достаточно 18 спутников в трех или шести орбитальных плоскостях, чтобы из любой точки на Земле было видно не менее четырех аппаратов одновременно. Но для стабильной работы системы в условиях рельефа и более

подходящего для решения навигационной задачи расположения необходимы 24 работающих спутника, а с учетом резерва в системе надо иметь 27-30 аппаратов. К аналогичным выводам пришли и американские специалисты, расположив, в начальной конфигурации, 24 аппарата в 6 орбитальных плоскостях с наклоном 55^0 и высотой 20200 км (рис. 2).

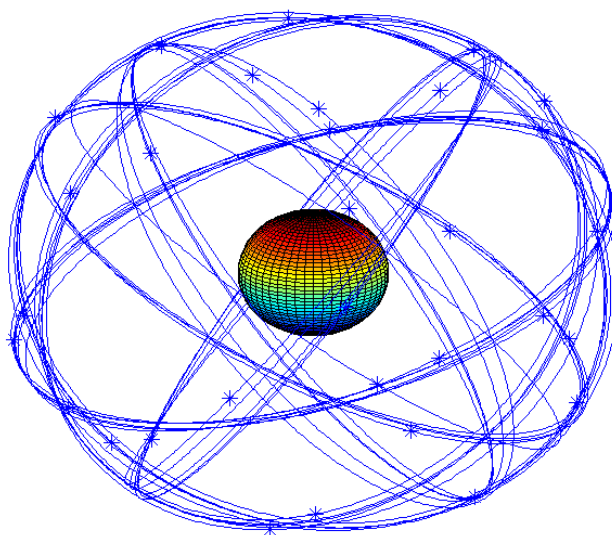


Рис. 2. Орбитальные траектории навигационных спутников

Согласно законам Кеплера, точечная масса под действием гравитационного поля центрального тела в зависимости от её скорости движется либо по параболе, либо по гиперболе, либо по эллипсу (в частном случае - окружности). Искусственные спутники Земли (ИСЗ или КА), в первом приближении, совершают движение по эллипсу. Форма эллипса задается двумя параметрами, например, размерами полуосей или, что чаще встречается, одной полуосью и эксцентриситетом. Для задания конкретной точки на эллипсе потребуется ещё один параметр, в качестве которого выступает истинная аномалия θ (рис. 3).

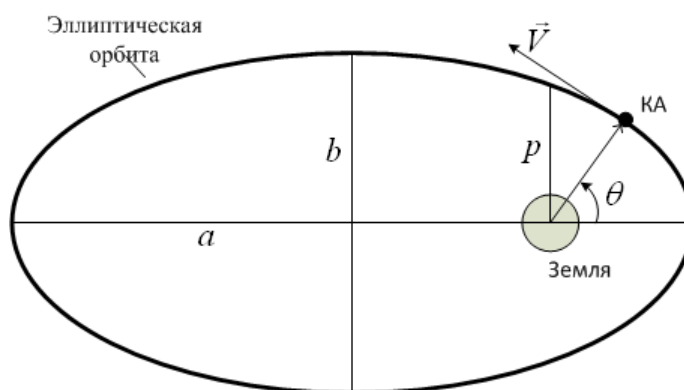


Рис. 3. Движение по эллипсу и его параметры.

Ещё три параметра задают положение эллипса в пространстве - три угла поворота относительно геоцентрической системы координат. Эти углы называются долготой восходящего узла Ω , наклонением орбиты i и аргументом перигея ω_p (рис. 4) (см. материалы курса «Космическая геодезия»).

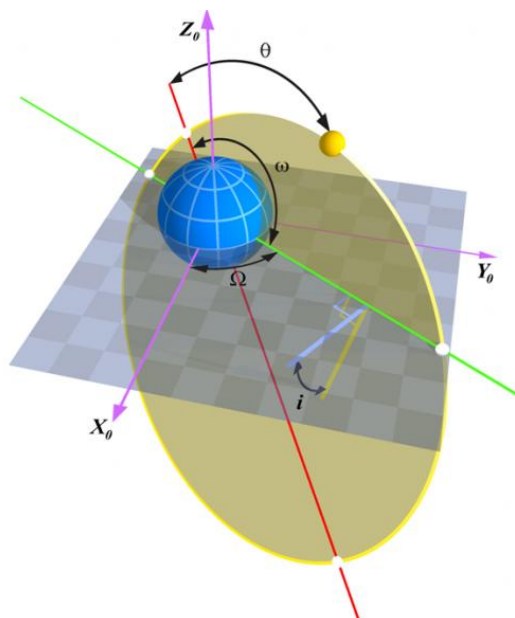


Рис. 4. Орбитальные параметры, задающие положение эллипса в пространстве.

Космический сегмент GPS состоит из сети 24 спутников, находящихся примерно на 12-часовых орбитах. Орбитальный радиус-вектор спутников приблизительно равен четырем Земным радиусам (26 600 км). Орбиты почти круговые, с эксцентриситетом меньшим, чем 0,1. Наклон орбиты к экватору Земли обычно равен 55° . Спутники имеют орбитальные скорости около 3,9 км/с в системе координат с началом в центре масс Земли и не вращающейся относительно отдаленных звезд. Расчетные орбиты спутников лежат в шести равноотстоящих плоскостях. В каждой плоскости находится по четыре спутника, а угловое расстояние между спутниками в каждой плоскости равно примерно 90 градусам. Орбитальные периоды спутников приблизительно равны 11 часам и 58 минутам так, что проекция траектории спутника на поверхность Земли повторяется день за днем, потому что Земля делает один оборот относительно звезд каждые 23 часа и 56 минут. Четыре дополнительных минуты требуются, чтобы точка на Земле возвратилась в положение непосредственно под Солнцем, потому что Солнце перемещается приблизительно на один градус в день относительно звезд. Срок службы каждого спутника составляет около 10 лет, их заменяют по мере выхода из строя.

Космический сегмент ГЛОНАСС включает 24 спутника, излучающих непрерывные радионавигационные сигналы, которые вращаются по круговой геостационарной орбите на высоте ~ 19100 км. Период обращения спутника вокруг Земли равен в среднем 11 часам 45 минутам. Время эксплуатации спутника — 5 лет; за этот период параметры орбиты спутника не должны отличаться от номинальных значений более, чем на 5% (табл. 1).

Таблица 1. Параметры космического сегмента двух систем.

ПАРАМЕТРЫ	ГЛОНАСС	GPS
Проектное число спутников	24	24
Число орбитальных плоскостей	3	6
Высота орбит относительно центра масс, км	25 500	26 600
Способ разделения сигналов	частотный	кодовый
Несущая частота L-1 мГц L-2 мГц	1602,6-1615,5 1246,4-1256,5	1575,4 1227,6
Система пространственных координат	ПЗ-90	WGS-84 (MGS-84)
Тип эфемерид	Геоцентрические координаты и их производные	Модифицированные кеплеровы элементы

В состав спутников входят следующие основные компоненты:

- радиотехническое оборудование (передатчики навигационных сигналов и телеметрической информации, БАМИ, приемники данных и команд от ПКУ, антенны, блоки ориентации);
- атомный бортовой эталон времени и частоты;
- источник электропитания в виде солнечных батарей.

В состав бортового оборудования НКА входят синтезатор частот, блоки формирования и передатчики навигационных сигналов, средства синхронизации и временного обеспечения или бортовые "часы" (на НКА Блок-II используются два рубидиевых со стабильностью $5 \cdot 10^{-13}$ и два цезиевых стандарта частоты со стабильностью $2 \cdot 10^{-13}$, бортовое вычислительное устройство в составе основной и двух резервных ЭВМ, подсистемы ориентации в процессе наведения и на орбите, телеметрии, приема команд и ретрансляции сигналов наземного комплекса управления, терморегулирования и электропитания. Антенная система линии передачи данных использует конические и спирально-конические антенны. Для передачи навигационных сигналов используются фазированные антенные решетки из спиральных излучающих элементов.

На НКА имеются также двигатели для коррекции орбиты и двигатели системы ориентации. Ориентация в пространстве осуществляется с помощью системы специальных датчиков. Подсистема телеметрии включает радиолинии передачи в сегмент управления данными о состоянии бортовой аппаратуры. По этим же линиям с земли поступают поправки к эфемеридам и показаниям бортовых "часов". Для точного определения орбит НКА используется запросный метод, а на НКА - аппаратура ретрансляции запросных сигналов, посылаемых с земли. По соответствующим измерениям задержки этих сигналов осуществляется точное определение параметров орбит и параметров движения НКА.

Передающая аппаратура спутника ГЛОНАСС излучает синусоидальные сигналы на двух несущих частотах: $L1=1575,6$ МГц и $L2=1227,6$ МГц спутника GPS сигналы на двух несущих частотах: $L1=1602,42-1615,5$ МГц и $L2=1246,4-1256,5$ МГц. Перед этим сигналы модулируются так называемыми псевдослучайными цифровыми последовательностями. Эта процедура называется фазовой манипуляцией. Причём частота $L1$ модулируется двумя видами кодов: C/A-кодом (код свободного доступа) и P-кодом (код санкционированного доступа), а частота $L2$ - только P-кодом. Кроме того, обе несущие частоты дополнительно кодируются навигационным сообщением, в котором содержатся данные об орбитах ИСЗ, информация о параметрах атмосферы, поправки системного времени (рис. 5).

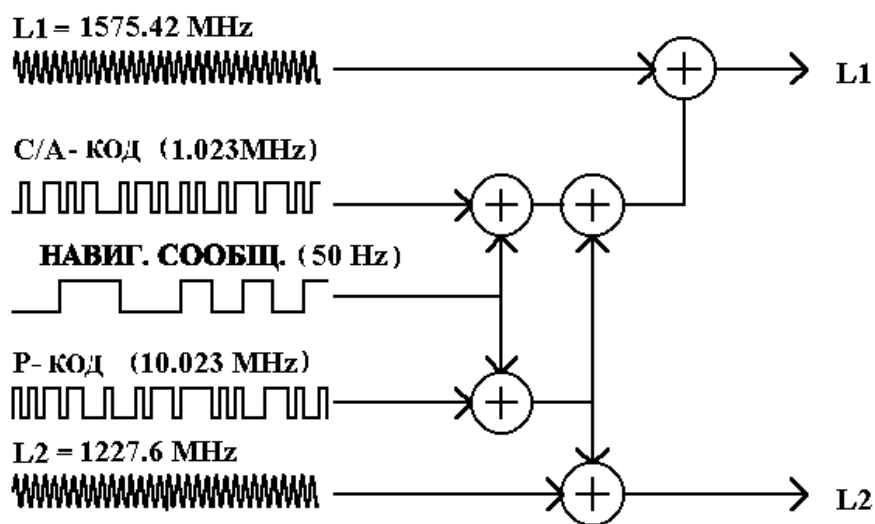


Рис. 5. Несущие частоты спутниковых сигналов.

Созвездие Galileo будет состоять из 27 спутников в трех орбитальных плоскостях, каждая с 9 спутниками, равномерно распределенными в пределах круговой орбиты. Ключевые параметры - орбитальный радиус 29994 км и склонение 56^0 . Чтобы обеспечивать необходимую избыточность на орбите и позволить быстрое восстановление

в случае отказа спутников, предполагаются три активных резервных спутника, по одному в каждой орбитальной плоскости. Кроме этого будут применены новые частотные диапазоны, сигналы и методы обработки данных, что, как предполагается, значительно повысит точность определения положения по сравнению с системой GPS. Однако существующие приёмники не смогут воспринимать данные, передаваемые навигационной системой Galileo.

Сегмент управления – это наземная система управления, предназначенная для контроля функционирования, непосредственно управления и информационного обеспечения сети спутников. Главные функции подсистемы контроля и управления:

- измерение и прогноз параметров орбиты навигационных спутников
- закладка на борт КА точных эфемерид и поправок
- мониторинг навигационного поля (контроль навигационного сигнала)
- радиотелеметрический мониторинг НС (контроль состояния бортовой аппаратуры)
- управление КА

Эфемеридное обеспечение (ОЭ) - определение и прогноз параметров движения, закладка этой информации на борт, распространение другими каналами.

Частотно-временное обеспечение (ЧВО) - определение и прогноз отклонения бортовых шкал времени навигационных аппаратов от системной шкалы времени, закладка поправок на борт и прочее распространение информации до пользователей.

Мониторинг радиосигналов (МР) – это наблюдение за создаваемым навигационными аппаратами радионавигационным полем. При обнаружении отклонений от нормы принимаются меры по устранению причин, либо исключение из решения.

Штатная комплектация сегмента управления состоит:

- координационно-вычислительный центр (КВЦ),
- станции траекторных измерений различного уровня (КИС, БИС и т.д.),
- наземный эталон времени и частоты.

Управляющий сегмент GPS содержит главную станцию управления - авиабаза Фалькон в штате Колорадо, пять станций слежения, расположенных на американских военных базах на Гавайских островах, островах Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджелейн и Колорадо-Спрингс и три станции закладки: острова Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджелейн. Кроме того, имеется сеть государственных и частных станций слежения за ИСЗ, которые выполняют наблюдения для уточнения параметров атмосферы и траекторий движения спутников. Собираемая информация обрабатывается в компьютерах и периодически передается на спутники для корректировки орбит и обновления навигационного сообщения.

В наземных комплексах управления (НКУ) системы ГЛОНАСС, в отличие от системы GPS, подсистемы эфемеридного обеспечения (ЭО) и частотно-временного обеспечения (ЧВО) построены раздельно. Определение и прогноз параметров движения НКА (навигационный космический аппарат) осуществляет Баллистический центр (БЦ) системы на основе результатов траекторных измерений дальности и радиальной скорости НКА, поступающих от сети наземных радиотехнических “запросных” командно-измерительных станций (КИС). В НКУ используются не менее трех КИС, расположенных на территории России (западная, центральная, восточная) на географической широте в пределах $50^{\circ} \dots 60^{\circ}$ с.ш. КИС на географической широте не менее 50° с.ш. “наблюдает” каждый НКА при углах возвышения не менее 5° в течение сеансов длительностью 1...5 ч на каждом витке орбиты НКА.

Сегмент потребителя обеспечивает определение пространственных координат, вектора скорости, текущего времени и других навигационных параметров в результате приёма и обработки радиосигналов, принимаемых от спутников. Навигационная аппаратура потребителей ГЛОНАСС и GPS начала разрабатываться практически с момента зарождения систем в середине 70-х годов и прошла в своем развитии ряд этапов, обусловленных главным образом развитием элементной базы приемных устройств и средств обработки сигналов и данных, а также соответствующего математического обеспечения. Если первые образцы аппаратуры, создаваясь в одноканальном исполнении, весили десятки килограмм, то современные многоканальные приемные и процессорные устройства зачастую весят десятки граммов и основную массу устройства в целом составляют элементы конструкции, иногда – антенны, согласующие модули, средства индикации и т.д. Система ГЛОНАСС является беззапросной, поэтому количество потребителей системы не ограничено. Помимо основной функции - навигационных определений - система позволяет производить высокоточную взаимную синхронизацию стандартов частоты и времени на удалённых наземных объектах и взаимную геодезическую привязку.

Под навигационным приемником (НАП СРНС, навигационной аппаратурой потребителей) понимают совокупность радиотехнических артефактов, предназначенных для определения местоположения, скорости, времени и/или пространственной ориентации их носителя с помощью сигналов спутниковой радионавигационной системы (рис. 6).

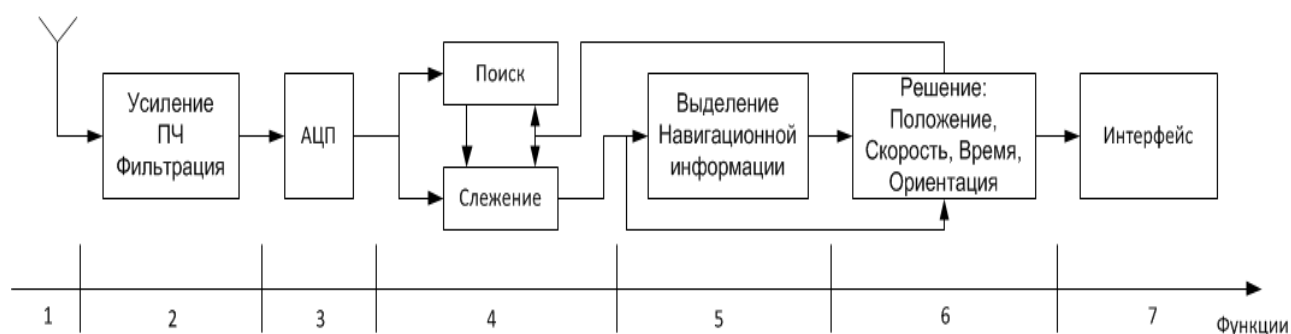


Рис. 6. Навигационная аппаратура потребителей

Для выполнения своей целевой функции любой навигационный приемник должен решить ряд задач:

1. Преобразование электромагнитного излучения в электрические токи радиочастотного диапазона с помощью антенны;
2. Перенос навигационных сигналов, принятых антенной, из радиочастотного диапазона (L1, L2, L3, L5) на промежуточную частоту, усиление и частотная селекция;
3. Дискретизация и квантование сигнала промежуточной частоты;
4. Оценка информативных параметров радиосигналов, для чего в современных приемниках производится поиск сигналов, передача на слежение и слежение за навигационными сигналами.
5. Прием цифрового сообщения, передаваемого в радиосигналах;
6. Расчет положения, ориентации, скорости и времени потребителя по накопленной информации, измеренным параметрам радиосигнала, принятому сообщению и информации от дополнительных источников;
7. Взаимодействие с потребителем с помощью того или иного интерфейса: прием команд и выдача координатно-временного обеспечения.

Устройства, решающие задачу 1, называют антенным модулем (АМ); задачи 2-3 – называют радиочастотным блоком (РЧБ); задачи 1-2 – радиочастотной частью НАП; задачи 3-7 – устройством цифровой обработки; задачи 2-7 – модулем навигационного приемника. Выполнение каждой задачи возможно с помощью различных подходов и технических средств. Подсистема аппаратуры потребителей, представлена различными типами приемников и программного обеспечения обработки спутниковых измерений. Типы и группы геодезических спутниковых приемников (см. таблицу 2).

Таблица 2. Типы и группы геодезических спутниковых приемников

Тип приемника	Группа	Число каналов не менее	Частоты
Двухсистемные двухчастотные и более	1	24	L1/L2(GPS)+ L1/L2(ГЛОНАСС)
Односистемные двухчастотные	2	9	L1/L2(GPS) или L1/L2(ГЛОНАСС)
Односистемные одночастотные	3	9	L1(GPS) или L1(ГЛОНАСС)

В навигационной аппаратуре потребителей (НАП) спутниковых РНС осуществляется прием сигналов НКА и дополнений, измерение временных задержек по кодам и фазам несущих и их приращений, определение на этой основе псевдодалностей и псевдоскоростей, ввод необходимых поправок, расчет координат, времени, составляющих скоростей и скорости ухода местной шкалы времени, а также характеристик точности навигационных определений. Указанные основные задачи могут дополняться сервисными задачами, обеспечивающими индикацию и управление транспортными и другими средствами. Навигационные расчеты должны идти после контроля целостности сигналов СРНС по данным навигационных сообщений НКА и наряду с контролем целостности в приемнике (RAIM).

Между приемниками ГЛОНАСС (П1) и приемниками GPS (П2) имеются небольшие отличия, обусловленные особенностями предоставления материалов отечественными и зарубежными производителями (разработчиками). Так, характеристики точности определения координат в П1 представлены в виде СКО номинального и дифференциального режимов. В П2 точность характеризуется сферическим вероятным отклонением только дифференциальных режимов. При этом, видимо, полагается, что точность приемника в номинальном режиме эквивалентна точности самой системы в целом. В П1 надежность аппаратуры характеризуется средним временем наработки на отказ, сроком службы, ресурсом и сроком гарантийного обслуживания. В П2 применительно к надежности содержатся только данные по сроку гарантии.

Под "холодным стартом" НАП понимается состояние приемника, когда эфемериды, альманах, начальные координаты и время неизвестны. Считается, что при "горячем старте" приемник располагает последним альманахом, начальными координатами и текущим временем, но текущие эфемериды неизвестны. Время вхождения в работу П1

определяется после перерывов не более 0,3 мин тогда, как П2 длительность перерывов должна быть не более 1 мин.

Аппаратура СРНС выпускается в различной комплектации: с пультами, индикаторами, базами данных и без таковых в зависимости от ее назначения. Как следует из приведенных данных, масса аппаратуры в целом находится в пределах нескольких килограммов и редко превышает 10 кг. Приемники строятся по многоканальной схеме с числом параллельных каналов чаще всего больше 10, причем наблюдается тенденция к приему сигналов всех КА, находящихся в поле видимости потребителя. Последнее позволяет существенно улучшить геометрический фактор и повысить точность навигационных определений. Стоимость готовых образцов аппаратуры находится в пределах от сотен до десятков тысяч долл. Наиболее дешевые приемники предназначены для индивидуального применения.

Так, фирмой Garmin создан популярный приемник eTrex стоимостью примерно 180 долл. США, габаритами 4,4x2x1,2 дюйма и массой ~150 г. Приемник располагает памятью на 500 путевых точек. Он в состоянии хранить данные для одного маршрута (50ППМ). Стоимость встраиваемых модулей (ОЕМ) составляет сотни и редко превосходит тысячу долл. В то же время стоимость бортовой авиационной аппаратуры особенно для военной авиации и магистральных самолетов, удовлетворяющих высоким требованиям ФАА и ВВС США, находится на уровне, превышающем 10000 долл.

Бортовые устройства транспортных средств выпускаются с учетом соответствующих интерфейсных контрольных документов систем ГЛОНАСС, GPS и др., национальных и международных требований, определяемых документами ФСБТ РФ, ФАА США, стандартов ИМО, ИКАО, ИЕС, RTCM, RTCA и т.д.

Рассмотрим принцип действия ГНСС.

Если спутниковые навигационные системы первого поколения являлись доплеровскими, то в основе ГНСС второго поколения лежит дальномерный метод определения положения. Структура сигналов навигационных спутников такова, что позволяет рассчитать задержку их распространения до потребителя. Помимо этого, с помощью этих же сигналов передается информация, позволяющая рассчитать положение и скорость спутника на момент излучения.

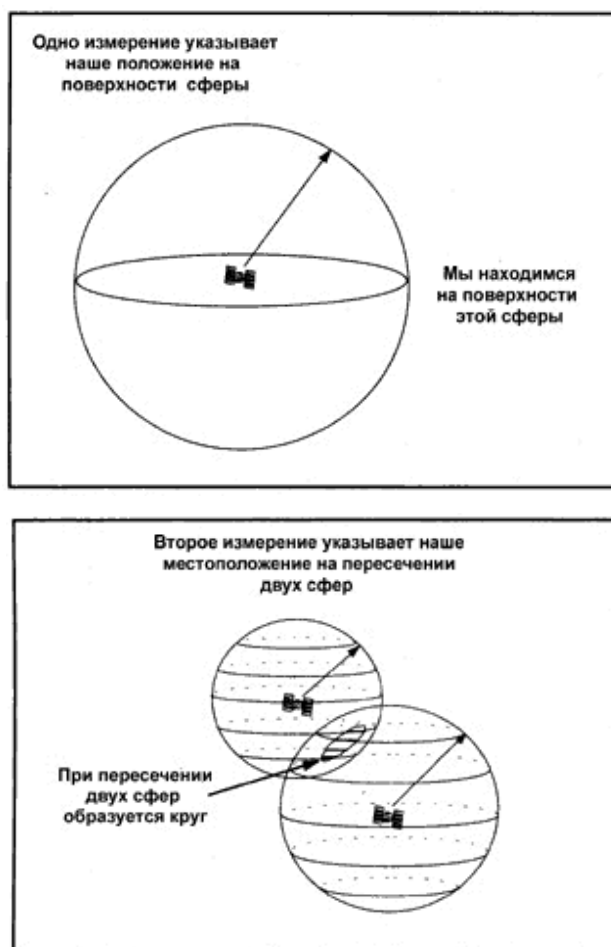
Основы системы ГНСС можно разбить на пять основных подпунктов:

1. Спутниковая трилатерация - основа системы определения положения.
2. Спутниковая дальнометрия – измерение расстояний до спутников.
3. Точная временная привязка – зачем нужно согласовывать часы в приёмнике и на спутнике и для чего требуется 4-й космический аппарат.

4. Расположение спутников – определение точного положения спутников в космосе.
5. Коррекция ошибок – учёт ошибок вносимых задержками в тропосфере и ионосфере.

Спутниковая трилатерация.

Точные координаты могут быть вычислены для места на поверхности Земли по измерениям расстояний от группы спутников, если известно их точное положение в космосе. В этом случае спутники являются пунктами с известными координатами. Предположим, что расстояние от одного спутника известно, и мы можем описать сферу заданного радиуса вокруг него. Если мы знаем также расстояние и до второго спутника, то определяемое местоположение будет расположено где-то в круге, задаваемом пересечением двух сфер. Третий спутник определяет две точки на окружности. Теперь остаётся только выбрать правильную точку. Однако одна из точек всегда может быть отброшена, так как она имеет высокую скорость перемещения или находится на или под поверхностью Земли. Таким образом, зная расстояние до трёх спутников, можно вычислить координаты определяемой точки (рис. 7).



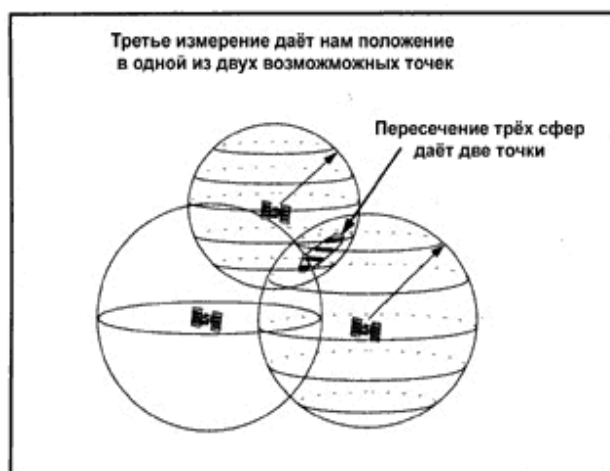


Рис. 7. Принцип спутниковой трилатерации.

Спутниковая дальнометрия.

Расстояние до спутников определяется по измерениям времени прохождения радиосигнала от космического аппарата до приёмника умноженным на скорость света. Для того, чтобы определить время распространения сигнала нам необходимо знать когда он покинул спутник. Для этого на спутнике и в приёмнике одновременно генерируется одинаковый псевдослучайный код.

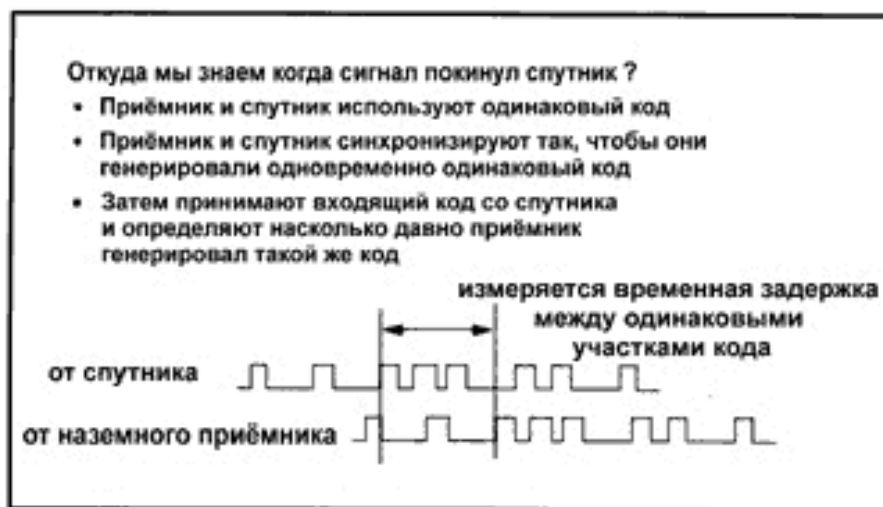


Рис. 8. Принцип спутниковой дальнометрии.

Как уже было сказано, каждый спутник передаёт два радиосигнала: на частоте $L1=1575.42$ МГц и $L2=1227.60$ МГц. Сигнал $L1$ имеет два дальномерных кода с псевдослучайным шумом (PRN), P-код и C/A код. “Точный” или P-код может быть зашифрован для военных целей. “Грубый” или C/A код не зашифрован. Сигнал $L2$ модулируется только с P-кодом.

Большинство гражданских пользователей используют C/A код при работе с GPS системами. Некоторые приёмники геодезического класса работают с P-кодом. Приёмник проверяет входящий сигнал со спутника и определяет, когда он генерировал такой же код.

Полученная разница, умноженная на скорость света (~ 300000 км/с) даёт искомое расстояние. Использование кода позволяет приёмнику определить временную задержку в любое время. Кроме того, спутники могут излучать сигнал на одной и той же частоте, так как каждый спутник идентифицируется по своему псевдослучайному коду (PRN или PseudoRandom Number code).

Точная временная привязка.

Как видно из сказанного выше, вычисления напрямую зависят от точности хода часов. Код должен генерироваться на спутнике и приёмнике в одно и то же время. На спутниках установлены атомные часы, имеющие точность около одной наносекунды. Однако было бы слишком дорого устанавливать такие часы в каждый GPS приёмник, поэтому измерения от четвёртого спутника используются для устранения ошибок хода часов приёмника. На самом деле коррекция происходит с использованием всех видимых в данный момент спутников. Чем больше спутников, тем больше точность коррекции и точек пересечения сфер. Всё это ведёт к повышению точности определения координат.

Эти измерения можно использовать для устранения ошибок, которые возникают, если часы на спутнике и в приёмнике не синхронизированы. Для наглядности возьмём пример с четырьмя спутниками. Иллюстрации, приведённые ниже, рассматривают ситуацию на плоскости, так как только три спутника необходимо для вычисления местоположения объекта.

Если часы на спутнике и в приёмнике имеют одинаковую точность хода, то точное местоположение может быть найдено по измерениям расстояния только до двух спутников (рис. 8а).

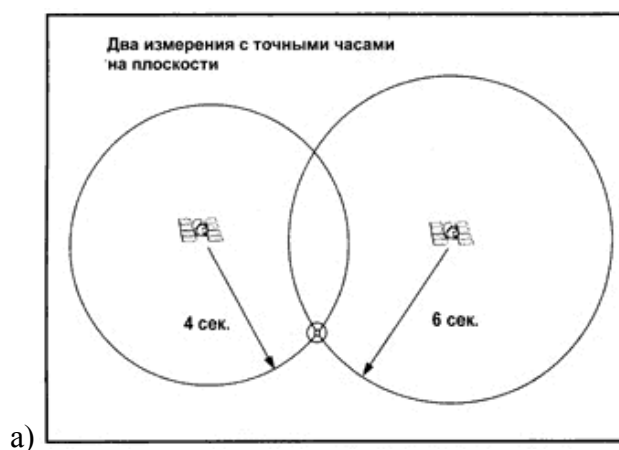


Рис. 8. а) Местоположение найдено по измерениям расстояния до двух спутников.

Если получены измерения с трёх спутников и все часы точные, то круг описанный радиус-вектором от третьего спутника будет пересекаться, как показано на рис. 8б.

Однако, если часы в приёмнике спешат на 1 секунду, то картина будет выглядеть следующим образом. Если сделать замер до третьего спутника, то полученный радиус-вектор не пересечётся с двумя другими как показано на рис. 8 б).

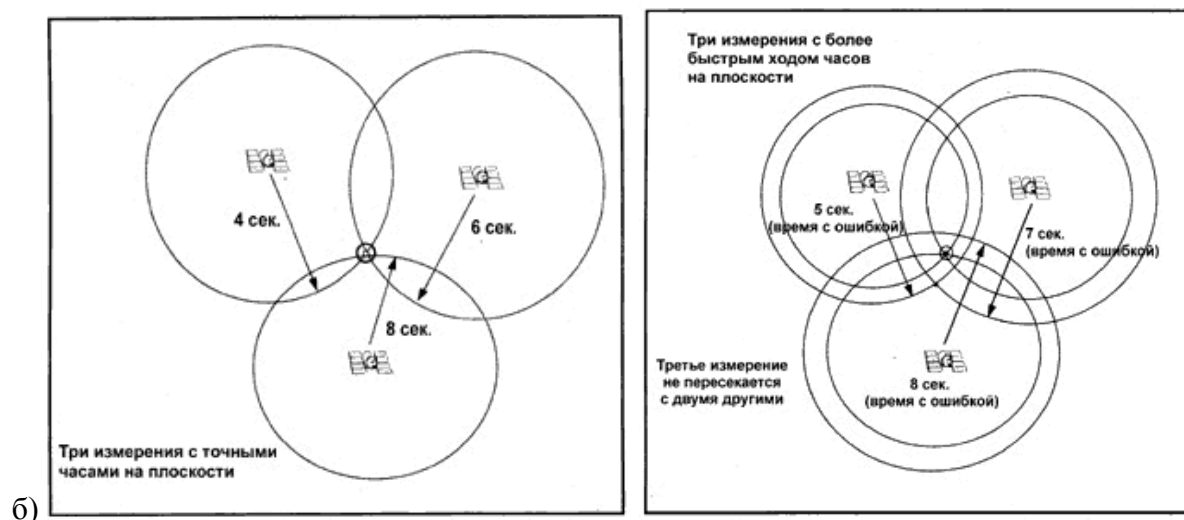


Рис. 8. б) Местоположение найдено по измерениям расстояния до трех спутников.

Когда GPS приёмник получает серию измерений, которые не пересекаются в одной точке, то компьютер в приёмнике начинает вычитать (или добавлять) время методом последовательных итерации до тех пор, пока не сведёт все измерения к одной точке. После этого вычисляется поправка и делается соответствующее уравнивание. Таким образом, при работе в поле необходимо иметь минимум четыре спутника, чтобы определить трёхмерные координаты объекта.

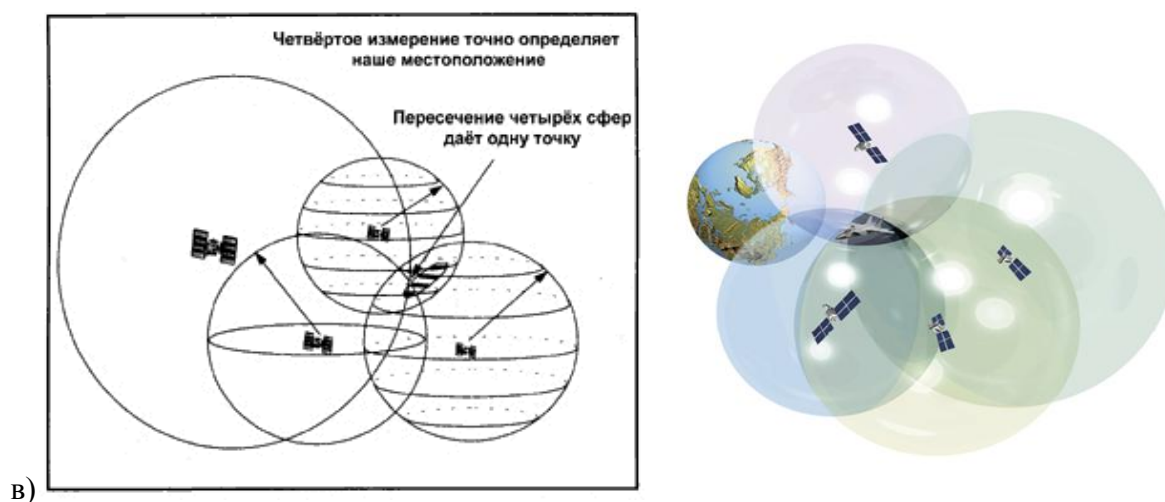
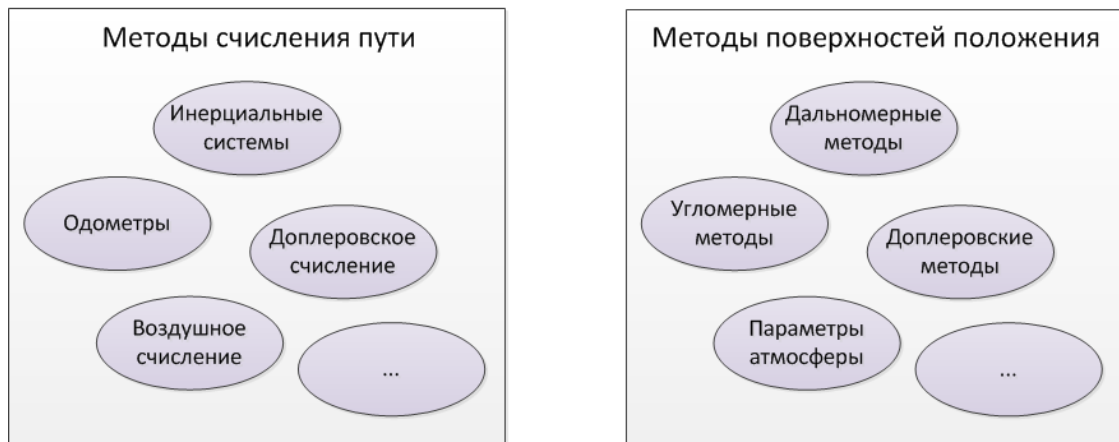


Рис. 8. в) Местоположение найдено по измерениям расстояния до четырех спутников.

Назначение навигационной системы - определение координат, скорости, ориентации объекта-носителя, а так же обеспечение его шкалой времени. Основные методы решения поставленных задач обозначены на схеме.

Методы навигационных определений



Все методы навигационных определений можно разбить на две большие группы. Традиционно они называются - методы счисления пути и методы поверхностей положения. Изложенные ниже подходы справедливы не только для определения координат, но и для оценки остальных навигационных параметров, но для простоты и наглядности ограничимся примерами определения пространственных координат.

Методы счисления пути.

При использовании методов счисления пути для решения навигационных задач используются датчики, измеряющие производные от навигационных параметров. Пусть есть некоторый начальный момент времени, в который навигационные параметры, в частности координаты, известны. Интегрируя измерения производных координат (скорости, ускорения, рывка и т.д.) из начальной точки получают измерения самих координат.

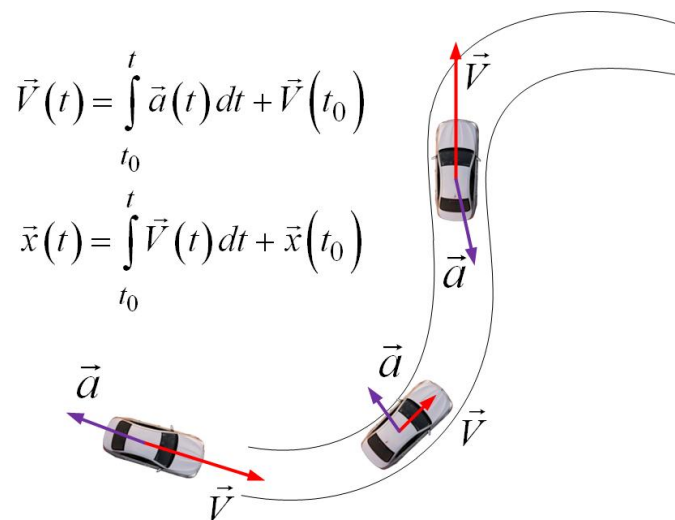


Рис. 9. Метод счисления пути для решения навигационных задач

Для примера рассмотрим двумерную задачу - определение координат автомобиля. Пусть нам известно положение и скорость в начальный момент времени. Инерциальные датчики, установленные в автомобиле, измеряют три компоненты вектора ускорения его центра масс. Интегрируя оценки ускорения можно получать оценки вектора скорости в каждый момент времени. Интегрируя оценки скорости - получать оценки координат. Методы счисления пути непосредственно в ГНСС не используются. Тем не менее, существует класс комплексированной навигационной аппаратуры потребителей. В комплексированной навигационной аппаратуре (НАП) используются дополнительные источники информации, которые могут помочь улучшить навигационное решение. Наиболее часто встречаемый пример комплексирования - совмещение НАП СГНСС и инерциальных датчиков. Такая система использует преимущества спутниковой навигации и инерциальной, нивелируя их недостатки.

Методы поверхностей положения.

К методам поверхностей положения относят различные радиотехнические, астрономические, магнитные, изобарические и другие методы навигации и позиционирования. Эти методы основаны на геометрических свойствах пространства и находящихся в нём полей. При применении методов поверхностей положения измерения ограничивают множество всех возможных положений объекта до некоторой поверхности, откуда и следует название этой группы методов. Если проводятся несколько измерений, то множество возможных положений сокращается до пересечения возможных множеств каждого измерения. Таким образом, ряд измерений может сократить число возможных положений до одной точки, которая и будет оценкой положения (рис. 8, а, б, в). Во всех [ГНСС](#) используются методы поверхностей положения.



Рис. 10. Метод поверхностей положения для решения позиционирования задач.

Псевдодальномерный метод навигационных определений.

Дальномерный метод навигационных определений - это метод определения положения потребителя по измерениям расстояния до нескольких реперных точек с известными координатами. В ГНСС он непосредственно не используется, но важен для понимания принципов работы псевдодальномерного метода.

Уравнение окружности (рис. 10) можно записать как

$$R_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2},$$

где (x_1, y_1) - координаты первого радиомаяка.

Её уравнение второй окружности дополняет первое:

$$R_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2},$$

где (x_2, y_2) - координаты второго радиомаяка.

Задержка сигнала измеряется со смещением $\Delta\tau$, таким образом, вместо расстояний измерять величины:

$$\begin{aligned} V(\Delta t_1 + \Delta\tau) &= \rho_1 = R_1 + V\Delta\tau, \\ V(\Delta t_2 + \Delta\tau) &= \rho_2 = R_2 + V\Delta\tau. \end{aligned}$$

Величины ρ называются *псевдодальностями*.

Спутники выступают в качестве сети синхронизированных маяков. При этом маяки хоть и перемещаются в пространстве с огромной скоростью, навигационная аппаратура с помощью передаваемых эфемерид рассчитывает положение спутников на момент излучения. Для получения трех пространственных координат потребуется дополнительное измерение псевдодальности до четвертого космического аппарата.

Псевдорадиально-скоростной метод.

Ранее мы рассмотрели задачу определения координат потребителя и поправки к его шкале времени. Аналогично решается задача определения скорости потребителя. Отличие заключается в том, что входными данными задачи выступают смещенные оценки взаимной скорости, а не расстояния. Смещение определяется скоростью расхождения часов потребителя и спутников. Благодаря эффекту Доплера взаимная скорость пропорциональная доплеровскому сдвигу частоты, оценку которого производит приемник (рис. 11).

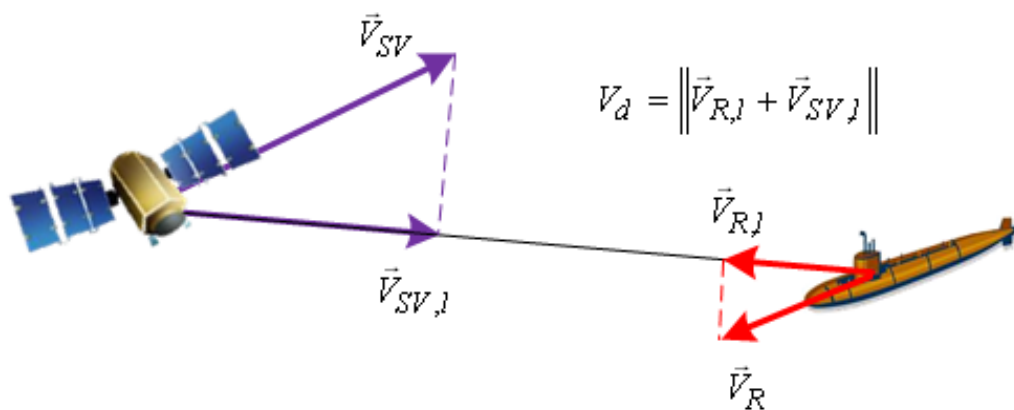


Рис. 11. Псевдорадиально-скоростной метод.

Определение угловой ориентации.

Угловая ориентация потребителя определяется путем сравнения задержек сигнала в нескольких разнесенных в пространстве точках. Разность хода сигнала при этом связана с углом между линией, соединяющей антенны, и направлением на спутник. Проведя измерения для нескольких спутников можно получить единственное решение для параметров ориентации антенной системы (рис. 12).

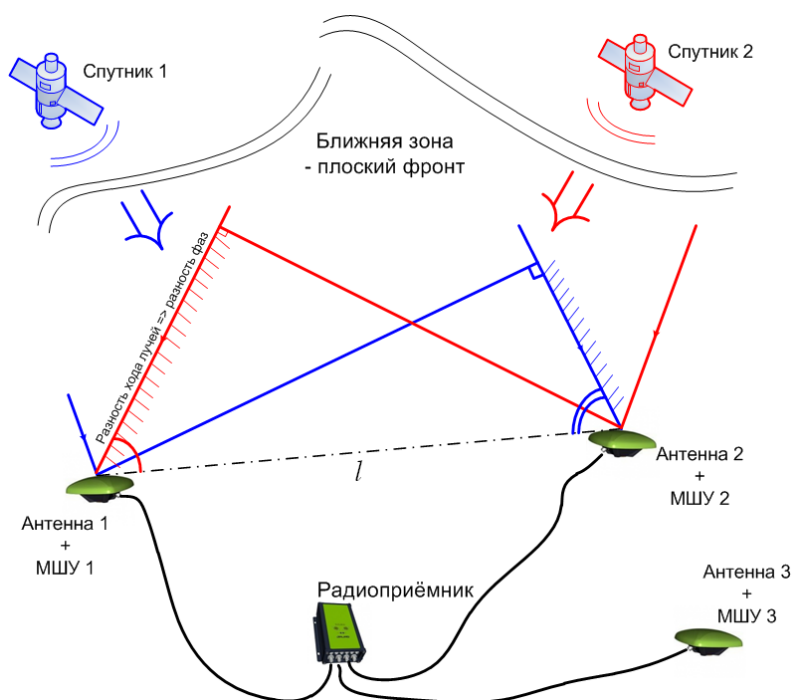


Рис. 12. Определение угловой ориентации.

Неизвестными в приведенных выше уравнениях являются три координаты (X, Y, Z) и ошибка шкалы времени потребителя $\Delta\tau$, проявляющаяся при априорном определении момента излучения сигнала НКА. Известными параметрами при этом будут координаты

НКА, определенные по эфемеридным данным. Учитывая, что неизвестных оказывается четыре параметра, то необходимо иметь не менее 4-х определений псевдодальностей относительно 4-х НКА. Обычно в поле видимости потребителя оказывается от 5 до 8 НКА. В первых образцах аппаратуры потребителя решалась задача выбора наилучшего по некоторому критерию созвездия из 4-х НКА. В современной аппаратуре обычно решается переопределенная система уравнений (больше 4-х) и используется итеративный метод наименьших квадратов, когда определяется решение, которое позволяет наилучшим образом приблизиться ко всем полученным в результате измерений псевдодальностям. Составляющие скорости потребителя определяется по измерениям приращений фаз несущей частоты сигналов НКА, вызываемых движением определяющегося объекта и НКА. Определенные геоцентрические координаты и составляющие скоростей могут преобразовываться в аналогичные параметры в других системах координат.

Примерные контрольные тесты.

1. *К элементам структуры спутниковых навигационных систем не относится*
Система гидрометеорологических служб
Подсистема навигационной аппаратуры потребителей
Подсистема контроля и управления
2. *Основная функция навигационных спутников это*
контроль бортовых систем
измерение и прогноз параметров орбиты навигационных спутников
прогноз отклонения бортовых шкал времени
формирование и излучение радиосигналов
3. *Орбитальные периоды спутников приблизительно равны*
6 часов
12 часов
18 часов
24 часа
4. *Сколько параметров задают положение эллипса (орбиты) в пространстве*
Один
Два
Три
Четыре
5. *На борту каждого спутника имеется*
2 стандарта частоты
3 стандарта частоты
4 стандарта частоты

Лекция 1.3. Структура радиосигнала и факторы его искажающие

Содержание.

1. Аппаратура для приёма спутниковых радиосигналов.

2. Частоты радиосигналов.
3. Структура радиосигнала.
4. Источники ошибок спутникового позиционирования.

Аппаратура для приёма спутниковых радиосигналов (спутниковый приёмник) состоит из следующих функциональных элементов:

- 1) антенны;
- 2) блока приёма радиосигналов;
- 3) микропроцессора;
- 4) блока управления;
- 5) блока индикации с дисплеем;
- 6) запоминающего устройства;
- 7) устройства связи с внешней ЭВМ;
- 8) блока питания.

Каждый спутник передаёт радиосигналы на двух несущих частотах – L1 и L2. В системе ГЛОНАСС значение L1 составляет около 1,6 ГГц, а значение L2 – около 1,2 ГГц. В системе GPS значение L1 составляет 1575,42 МГц, а значение L2 – 1227,60 МГц. На частоте L1 передаётся радиосигнал стандартной точности, радиосигнал высокой точности и служебная информация; на частоте L2 – радиосигнал высокой точности и служебная информация.

Каждый навигационный космический аппарат (НКА) модификаций «Глонасс» и «Глонасс-М» системы ГЛОНАСС передает навигационные радиосигналы на собственных частотах в двух частотных поддиапазонах. НКА, находящиеся в противоположных точках орбитальной плоскости (антиподные НКА), могут передавать навигационные радиосигналы на одинаковых частотах.

НКА модификации «Глонасс» в поддиапазоне L1 излучают навигационные сигналы 2-х типов: сигнал стандартной точности (СТ), доступный любым потребителям и сигнал высокой точности (ВТ), доступный только специальным потребителям, а в поддиапазоне L2 только один сигнал ВТ.

НКА модификации «Глонасс-М» в поддиапазонах L1 и L2 излучают навигационные сигналы 2-х типов: СТ и ВТ. Сигнал ВТ модулирован специальным кодом и предназначен для использования в интересах Министерства обороны Российской Федерации. Использование сигнала ВТ спецпотребителями должно быть согласовано с Министерством обороны Российской Федерации.

Навигационный радиосигнал, передаваемый каждым НКА системы ГЛОНАСС на собственной несущей частоте в поддиапазонах L1 и L2, является многокомпонентным

фазоманипулированным сигналом. Фазовая манипуляция несущей осуществляется на π радиан с максимальной погрешностью не более $\pm 0,2$ радиана.

Фаза несущего колебания поддиапазона L1 передаваемого НКА «Глонасс» и фазы несущих колебаний поддиапазонов L1 и L2 передаваемого НКА «Глонасс-М» модулируется двоичной последовательностью, образованной суммированием по модулю два псевдослучайного (ПС) дальномерного кода, цифровой информации навигационного сообщения и вспомогательного колебания типа меандр. Основой для формирования всех перечисленных компонентов сигнала является бортовой стандарт частоты.

Дальномерный код.

Псевдослучайный дальномерный код представляет собой последовательность максимальной длины регистра сдвига (М-последовательность) с периодом 1 мс и скоростью передачи символов 511 кбит/с.

Цифровая информация

Цифровая информация навигационного сообщения подразделяется на оперативную и неоперативную информацию. Оперативная информация относится к тому НКА, с борта которого передается данный навигационный радиосигнал. Неоперативная информация (альманах системы) относится ко всем НКА, входящим в состав подсистему космического аппарата (ПКА). Цифровая информация передается со скоростью 50 бит/с.

Оперативная информация содержит:

- оцифровку меток времени НКА;
- сдвиг шкалы времени НКА относительно шкалы времени системы ГЛОНАСС;
- относительное отличие несущей частоты излучаемого навигационного радиосигнала от номинального значения;
- эфемериды НКА и другие параметры.

Неоперативная информация содержит альманах системы, включающий в себя:

- данные о состоянии всех НКА системы (альманах состояния);
- сдвиг шкалы времени каждого НКА относительно шкалы времени системы ГЛОНАСС (альманах фаз);
- параметры орбит всех НКА системы (альманах орбит);
- сдвиг шкалы времени системы ГЛОНАСС относительно UTC(SU) и другие параметры.

Навигационное сообщение передается в виде потока цифровой информации (ЦИ), закодированной по коду Хемминга и преобразованной в относительный код. Структурно поток ЦИ формируется в виде непрерывно повторяющихся суперкадров. Суперкадр состоит из нескольких кадров, кадр состоит из нескольких строк ЦИ. Границы строк, кадров и суперкадров различных НКА синхронны с погрешностью не более 2 мс.

Структура суперкадра.

Суперкадр имеет длительность 2,5 мин и состоит из 5 кадров длительностью 30 с. Каждый кадр состоит из 15 строк длительностью 2 с. В пределах каждого суперкадра передается полный объем неоперативной информации (альманах) для всех 24 НКА системы ГЛОНАСС.

Структура суперкадра в кадре

Навигационный кадр является частью суперкадра. Каждый навигационный кадр имеет длительность 30 с и состоит из пятнадцати строк длительностью 2 с каждая. В пределах каждого кадра передается полный объем оперативной ЦИ для данного НКА и часть неоперативной ЦИ.

Структура информационной строки в кадре

Информационная строка является структурным элементом навигационного кадра. Каждая строка содержит двоичные символы ЦИ и метку времени. Длительность строки ЦИ равна 2 с, и из них 0,3 с в конце строки занимает метка времени (МВ) в виде укороченной псевдослучайной последовательности, состоящей из 30-ти символов длительностью 10 мс (рис. 1). Остальную часть строки (1,7 с) занимает собственно ЦИ с символьной частотой 50 Гц, сложенная по модулю два с меандром двойной символьной частоты 100 Гц (бидвоичный код).



Рис. 1. Структура информационной строки в кадре

Таким образом, каждая строка содержит 85 двоичных символов ЦИ. Нумерация позиций символов в строке осуществляется справа налево. Наряду с информационными символами (позиции 84-9) в каждой строке ЦИ передаются 8 проверочных символов (позиции 1-8) кода Хемминга (КХ). Поясним термин кода Хемминга. Систематические

коды образуют большую группу из блочных, делимых кодов, в которых все символы можно разделить на проверочные и информационные. Коды Хэмминга являются самоконтролирующимися (в отличие от самокорректирующихся) кодами, то есть кодами, позволяющими автоматически обнаруживать ошибки при передаче данных. Для их построения достаточно приписать к каждому слову один добавочный (контрольный) двоичный разряд и выбрать цифру этого разряда так, чтобы общее количество единиц в изображении любого числа было, например, четным.

Одинокaя ошибка в каком-либо разряде передаваемого слова (в том числе, может быть, и в контрольном разряде) изменит четность общего количества единиц. Счетчики по модулю 2, подсчитывающие количество единиц, которые содержатся среди двоичных цифр числа, могут давать сигнал о наличии ошибок. При этом невозможно узнать, в каком именно разряде произошла ошибка, и, следовательно, нет возможности исправить её. Остаются незамеченными также ошибки, возникающие одновременно в двух, четырех, и т.д. - в четном количестве разрядов. Впрочем, двойные, а тем более четырехкратные ошибки полагаются маловероятными.

Код Хемминга имеет кодовое расстояние равное 4. Разделение строк ЦИ осуществляется с помощью меток времени (МВ). Слова ЦИ записываются старшими разрядами слева. Передача ЦИ осуществляется старшими разрядами вперед. В каждой строке последний символ (85-я позиция) является "холостым", он необходим для реализации последовательного относительного кода при передаче ЦИ по радиолинии. В качестве "холостого" символа принят "0".

Частотный план.

Номинальные значения несущих частот навигационных радиосигналов НКА «Глонасс» в частотных поддиапазонах L1 и L2 определяются следующими выражениями:

$$f_{K1} = f_{01} + K\Delta f_1,$$

$$f_{K2} = f_{02} + K\Delta f_2,$$

где K – номера несущих частот навигационных радиосигналов, излучаемых НКА в частотных поддиапазонах L1 и L2, соответственно;

$$f_{01} = 1602 \text{ МГц}; \Delta f_1 = 562,5 \text{ кГц}, \text{ для поддиапазона L1};$$

$$f_{02} = 1246 \text{ МГц}; \Delta f_2 = 437,5 \text{ кГц}, \text{ для поддиапазона L2 (система ГЛОНАСС).}$$

Распределение номеров K между НКА отображается в альманахе системы (неоперативная информация в навигационном сообщении) (табл. 1). В соответствии с рекомендациями Международного Союза Электросвязи (МСЭ) в системе ГЛОНАСС предусмотрено для сигнала стандартной точности номера частот $K = (-7...+6)$. Отношение рабочих частот L1 и L2, излучаемых определенным НКА составляет $f_{K2} / f_{K1} = 7/9$.

Таблица 1. Распределение номинальных значений несущих частот f_{K1} и f_{K2} по номерам К

№ частоты	Номинал частоты в поддиапазоне L1, МГц	№ частоты	Номинал частоты в поддиапазоне L2, МГц
06	1605,375	06	1248,625
05	1604,8125	05	1248,1875
04	1604,25	04	1247,75
03	1603,6875	03	1247,3125
02	1603,125	02	1246,875
01	1602,5625	01	1246,4375
00	1602,0	00	1246,0
-01	1601,4375	-01	1245,5625
-02	1600,8750	-02	1245,1250
-03	1600,3125	-03	1244,6875
-04	1599,7500	-04	1244,2500
-05	1599,1875	-05	1243,8125
-06	1598,6250	-06	1243,3750
-07	1598,0625	-07	1242,9375

Фактические значения несущих частот радиосигналов каждого НКА могут отличаться от номинальных значений f_K на относительную величину, не превышающую $\pm 2 \times 10^{-11}$. В таблице 2 для сравнения даны характеристики сигнала двух СНС.

Таблица 2. Сравнение характеристик сигнала двух СНС.

параметр	ГЛОНАСС	GPS
Поляризация радиоволн	круговая	круговая
Несущие частоты L1	1598,06 – 1605,38 МГц	1575,42 МГц
Несущие частоты L2	1242,94 – 1248,62 МГц	1227,6 МГц
Несущие частоты L5		1176,45 МГц
Разделение сигналов	частотное	кодированное
Объем посылки данных	7500 бит	37500 бит
Длительность посылки данных	2,5 мин	12,5 мин
Скорость передачи	50 зн/с	50 зн/с
Повтор меток времени	2 с	6 с

Примечание. Подробное описание структуры радиосигнала системы GPS представлено в материалах презентации (файл «Презентация 1.3.1_ГНСС.pdf»).

Корреляционные потери

Корреляционные потери обусловлены неидеальностью модулятора и ограничением спектра радиосигнала в передатчике навигационного сигнала. Для навигационного сигнала стандартной точности корреляционные потери пренебрежимо малы.

Фазовые шумы несущей частоты

Спектральная плотность фазовых шумов немодулированной несущей такова, что схема слежения, имеющая одностороннюю шумовую полосу 10 Гц, обеспечивает точность слежения за фазой несущей частоты не хуже 0,1 радиан (среднеквадратическое значение).

Нежелательные излучения

Уровень мощности нежелательных излучений от каждого НКА за пределами полосы частот, отведенной для навигационных радиосигналов системы ГЛОНАСС

(1598,0625...1605,375) МГц \pm 0,511 МГц,

(1242,9375...1248,625) МГц \pm 0,511 МГц

ослаблен не менее, чем на 40 дБ относительно мощности немодулированной несущей.

НКА «Глонасс-М» оснащается фильтрами, уменьшающими нежелательные излучения в диапазонах частот:

(1610,6...1613,8) МГц;

(1660,0...1670,0) МГц,

до рекомендованного уровня, приведенного в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

Мощность радиосигнала, принимаемого потребителем от НКА «Глонасс», на выходе приемной линейно поляризованной антенны с коэффициентом усиления +3 дБ и при угле места НКА более 5° составляет не менее минус 161 дБВт для частот поддиапазона L1.

Мощность радиосигнала, принимаемого потребителем от НКА «Глонасс-М», на выходе приемной линейно поляризованной антенны с коэффициентом усиления +3 дБ и при угле места НКА более 5° составляет не менее минус 161 дБВт для частот поддиапазонов L1 и L2.

К факторам, влияющим на прохождение радиосигнала, относятся:

- механические препятствия,
- отражающие объекты,
- радиопомехи,
- влияние ионосферной и тропосферной рефракции,

Механические препятствия. Препятствия, такие как здания и сооружения, густая растительность и крупные предметы, при их нахождении на прямой, соединяющей спутник и приёмник (независимо от продолжительности нахождения), исключают

возможность наблюдения этого спутника. Линии электропередач, провода и кабели диаметром до 2 – 3 см не являются препятствиями для прохождения радиосигнала.

Отражающие объекты. Объекты, отражающие радиосигнал, находящиеся вблизи приёмника (на расстояниях менее 50 м), в большей или меньшей степени, в зависимости от расстояния и площади поверхности объекта, создают эффект многопутности (многолучевости), понижающий точность спутниковых определений. К таким объектам относятся искусственные сооружения и крупные предметы, особенно металлические. Многолучевость появляется в результате вторичных отражений сигнала спутника от крупных препятствий, расположенных в непосредственной близости от приемника. При этом возникает явление интерференции, и измеренное расстояние оказывается больше действительного. Аналитически данную погрешность оценить достаточно трудно, а наилучшим способом борьбы с ней считается рациональное размещение антенны приемника относительно препятствий. Данный эффект может присутствовать в случаях, когда около приёмника находится достаточно большой и высокий объект. Типичным случаем являются улицы городов, каньоны или гористая местность.

В данном случае может наблюдаться кратковременная ошибка в десятки метров. Во избежание появления эффекта многолучевости в процессе работ необходимо следить, чтобы точки съёмочного обоснования не попадали в зоны, близкие к крупным металлическим объектам (опорам высоковольтных линий электропередач, нефтеналивным бакам и т. п.). Влияние многолучевости на точность спутниковых определений обычно незначительно для точностей, реализуемых при развитии съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа, и, таким образом, не исключает возможности проведения этих работ.

Радиопомехи, создаваемые источниками радиосигналов (мощными радиостанциями), находящимися на расстоянии менее 1 км от приёмника, а также подвесными высоковольтными линиями электропередач, находящимися на расстоянии менее 50 м от приёмника, понижают точность спутниковых определений. Необходимо избегать размещения спутниковых приёмников вблизи этих объектов

Влияние ионосферной и тропосферной рефракции. При выполнении спутниковых определений не рекомендуется наблюдать спутники, возвышение (высота над горизонтом), которых над горизонтом составляет менее 15°, т. к. в противном случае полученные данные будут значительно искажаться влиянием атмосферной рефракции.

Источниками ошибок спутникового позиционирования являются:

- ионосферные и тропосферные задержки сигнала,
- неточное определение времени,

- ошибки вычисления орбит,
- инструментальная ошибка приемника,
- влияние конфигурации орбитального созвездия спутников.

Ионосферные задержки сигнала. Ионосфера – это ионизированный атмосферный слой в диапазоне высот 50 – 500 км, который содержит свободные электроны. Наличие этих электронов вызывает задержку распространения сигнала спутника, которая прямо пропорциональна концентрации электронов и обратно пропорциональна квадрату частоты радиосигнала. Для частичной компенсации этой погрешности может быть использована модель коррекции, которая аналитически рассчитывается с использованием информации, содержащейся в навигационном сообщении. При этом величина остаточной немоделируемой ионосферной задержки может вызывать погрешность определения расстояний около 5 м.

Тропосферные задержки сигнала. Тропосфера – самый нижний от земной поверхности слой атмосферы (до высоты 8 – 13 км). Она также обуславливает задержку распространения радиосигнала от спутника. Величина задержки зависит от метеопараметров (давления, температуры, влажности), а также от высоты спутника над горизонтом. Компенсация тропосферных задержек производится путем расчета математической модели этого слоя атмосферы. Необходимые для этого коэффициенты содержатся в навигационном сообщении. Тропосферные задержки вызывают ошибки измерения расстояний в 1 м.

Примечание. Описание структуры ионосферы и тропосферы, возможные способы снижения их влияния на прохождение радиосигнала дополнительно представлено в материалах презентации (файл «Презентация 1.3.2_ГНСС.pdf»).

Неточное определение времени. При всей точности временных эталонов, установленных на спутниках, существует некоторая погрешность шкалы времени их аппаратуры. Она приводит к возникновению систематической ошибки определения координат. Типичное значение погрешности составляет около 0,6 м.

Ошибки вычисления орбит. Появляются вследствие неточностей прогноза и расчета орбит спутников, выполняемых в аппаратуре приемника, влияние на движение спутников гравитационного поля Земли. Эта погрешность также носит систематический характер и приводит к ошибке измерения координат около 0,6 м.

Инструментальная ошибка приемника. Обусловлена, прежде всего, наличием шумов в электронном тракте приемника. Отношение сигнал/шум приемника определяет точность процедуры сравнения принятого со спутника и опорного сигналов, т.е.

погрешность вычисления расстояний. Наличие данной погрешности может привести к возникновению координатной ошибки порядка 1,2 м

Влияние конфигурации орбитального созвездия спутников. Фактор понижения точности (DOP). Точность спутниковых определений зависит от конфигурации спутникового созвездия в период выполнения приёма. Влияние конфигурации спутникового созвездия на точность спутниковых определений характеризуется фактором понижения точности DOP (dilution of precision). DOP - это отношение средней квадратической погрешности определения местоположения к средней квадратической погрешности измерения расстояний до наблюдаемых спутников. Фактор DOP имеет несколько видов, основные из которых приведены в табл. 3.

Таблица 3. Виды фактора DOP.

Вид DOP	Обозначение	Определяемые параметры
Геометрический	GDOP	координаты, высота, время
Позиционный	PDOP	координаты, высота
Горизонтальный	HDOP	координаты
Вертикальный	VDOP	высота

Наиболее важным является позиционный PDOP. Величина коэффициента PDOP зависит от взаимного расположения спутников и приемника. Она обратно пропорциональна объему фигуры, которая будет образована, если провести единичные векторы от приемника к спутникам. Самым неблагоприятным будет считаться такое расположение, когда спутники выстраиваются в одну линию или расположены очень близко друг к другу. Это бывает исключительно редко и, учитывая их орбитальную скорость, длится не более 15-30 минут. Наилучшим считается такое расположение, когда спутники расположены равномерно по всей видимой небесной сфере.

Примечание. Описание влияния ошибок неточного определения времени, многолучевости, конфигурации орбитального созвездия спутников и способы их учета конфигурации орбитального созвездия спутников представлено в материалах презентации (файл «Презентация 1.3.3_ГНСС.pdf»).

Примерные контрольные тесты.

1. Сколько несущих частот для передачи радиосигналов используется ГНСС

две несущие

одна несущие

четыре несущие

2. Радиосигнал ГНСС высокой точности и служебная информация передаются на частоте

L1

L2

L3

L4

5. Цифровая информация навигационного сообщения спутника ГНСС подразделяется на оперативную и неоперативную информацию
стандартную и служебную
кодированную и открытую

4. Альманах системы ГНСС – это

неоперативная информация

служебная информация

открытая информация

стандартная

Лекция 1.4. Шкалы времени, системы координат, способы позиционирования ГНСС

Содержание.

1. Опорная шкала времени для системы ГЛОНАСС.
2. Опорная шкала времени для системы GPS
3. Система координат системы ГЛОНАСС
4. Система координат системы GPS
5. Способы позиционирования ГНСС

Все навигационные космические аппараты (НКА) системы ГЛОНАСС оснащены высокостабильными стандартами частоты, суточная нестабильность которых составляет $5 \cdot 10^{-13}$ для НКА «Глонасс» и $1 \cdot 10^{-13}$ для НКА «Глонасс-М». Точность взаимной синхронизации бортовых шкал времени НКА «Глонасс» составляет 20 нс (среднеквадратическое значение), а НКА «Глонасс-М» – 8 нс (среднеквадратическое значение).

В качестве шкалы системного времени ГЛОНАСС принята условная непрерывная шкала времени, формируемая на основе шкалы времени Центрального синхронизатора системы. Центральный синхронизатор оснащен водородными стандартами частоты, суточная нестабильность которых составляет 2×10^{-15} .

Опорной шкалой времени для системы ГЛОНАСС является национальная координированная шкала времени России UTC(SU). Расхождение между шкалой системного времени ГЛОНАСС и UTC(SU) не должна превышать 1 мс. Поправки к шкале системного времени ГЛОНАСС относительно UTC(SU) τ_c вычисляются в ПКУ (подсистема контроля и управления) ГЛОНАСС и 1–2 раза в сутки закладываются на борт каждого НКА. Погрешность привязки шкалы системного времени ГЛОНАСС к шкале UTC(SU) не должна превышать 1 мкс. Погрешность сверки шкалы времени НКА со шкалой времени UTC не превышает 10 нс на момент проведения измерений. Шкала системного времени ГЛОНАСС корректируется одновременно с плановой коррекцией на целое число секунд шкалы координированного всемирного времени UTC (подробнее о шкалах времени см. в курсе «Основы космической геодезии»).

Коррекция шкалы UTC на величину ± 1 с проводится Международным Бюро Времени (BIPM) по рекомендации Международной службы вращения Земли (IERS). Коррекция шкалы UTC производится, как правило, с периодичностью 1 раз в год (в полтора года) в конце одного из кварталов: в 00 часов 00 минут 00 секунд полночь с 31 декабря на 1 января – 1-й квартал (с 31 марта на 1 апреля – 2-й квартал, с 30 июня на 1 июля – 3-й квартал, с 30 сентября на 1 октября – 4-й квартал) и осуществляется одновременно всеми пользователями, использующими шкалу UTC.

Предупреждение о моменте и величине коррекции UTC заблаговременно (не менее чем за три месяца) сообщается пользователям в соответствующих бюллетенях, извещениях и другими способами. НКА «Глонасс» не содержат в навигационных сообщениях данных о коррекции UTC. В навигационном кадре НКА «Глонасс»-М предусмотрено заблаговременное уведомление потребителей о факте, величине и знаке секундной коррекции UTC.

При коррекции UTC, в соответствии с рекомендациями BIPM, проводится одновременная коррекция системного времени ГЛОНАСС путем соответствующего изменения оцифровки последовательности секундных импульсов бортовых часов всех НКА «Глонасс». При этом метка времени строки навигационного кадра ГЛОНАСС (передаваемая каждые 2 секунды) изменяет свое положение (на непрерывной шкале времени) для синхронизации с 2-секундной эпохой скорректированной шкалы UTC. Это изменение происходит в 00 часов 00 минут 00 секунд UTC.

В результате периодического проведения плановой секундной коррекции, между системным временем ГЛОНАСС и UTC(SU) не существует сдвига на целое

число секунд. Однако, между системным временем ГЛОНАСС и UTC(SU) существует постоянный сдвиг на целое число часов, обусловленный особенностями функционирования пунктом командного управления:

$$T_{ГЛ} = T_{UTC(SU)} + 03 \text{ час } 00 \text{ мин}$$

Для вычисления эфемерид НКА на момент измерений навигационных параметров используются следующие соотношения для определения времени в шкале UTC(SU):

$$T_{UTC(SU)} + 03 \text{ час } 00 \text{ мин} = t + \tau_c + \tau_n(t_b) - \gamma_n(t_b)(t - t_b),$$

где t - время излучения сигнала по бортовой шкале времени;

τ_c - поправка к шкале системного времени ГЛОНАСС относительно UTC(SU);

слово t_b – порядковый номер временного интервала внутри текущих суток по шкале системного времени ГЛОНАСС, к середине которого относится передаваемая в кадре оперативная информация;

слово $\tau_n(t_b)$ - сдвиг шкалы времени n -го НКА t_n относительно шкалы времени системы ГЛОНАСС t_c , равный смещению по фазе дальномерной псевдослучайной последовательности излучаемого навигационного радиосигнала n -го НКА относительно системного опорного сигнала на момент времени t_b , выраженный в единицах времени

$$\tau_n(t_b) = t_c(t_b) - t_n(t_b);$$

слово $\gamma_n(t_b)$ - относительное отклонение прогнозируемого значения несущей частоты излучаемого навигационного радиосигнала n -го НКА от номинального значения на момент времени t_b ;

НКА «Глонасс-М» передают коэффициенты $B1$ и $B2$ для перехода к шкале всемирного времени UT1 и поправку τ GPS для перехода к шкале времени системы GPS. Точность определения поправки τ GPS составляет не хуже 30 нс (среднеквадратическое значение).

Передаваемые каждым НКА системы ГЛОНАСС в составе оперативной информации эфемериды описывают положение фазового центра передающей антенны данного НКА в связанной с Землей геоцентрической системе координат ПЗ-90.02, определяемой следующим образом:

НАЧАЛО КООРДИНАТ расположено в центре масс Земли;

ОСЬ Z направлена на Условный полюс Земли, как определено в рекомендации Международной службы вращения Земли (IERS);

ОСЬ X направлена в точку пересечения плоскости экватора и начального (нулевого) меридиана, установленного Международным бюро времени (BIH);

ОСЬ Y дополняет геоцентрическую прямоугольную систему координат до правой.

В этой системе координат положение точки в пространстве определяется значениями координат X, Y, Z .

Геодезические координаты точки в системе координат ПЗ-90.02 относятся к эллипсоиду, значения большой полуоси и полярного сжатия, фундаментальные геодезические константы и основные параметры общеземного эллипсоида, принятые в системе координат ПЗ-90.02 даны в таблице 1.

Таблица 1. Геодезические константы и параметры общеземного эллипсоида ПЗ 90.02

Угловая скорость вращения Земли	$7,292115 \times 10^{-5}$ радиан/с
Геоцентрическая константа гравитационного поля Земли с учетом атмосферы	$398\,600,4418 \times 10^9 \text{ м}^3/\text{с}^2$
Геоцентрическая константа гравитационного поля атмосферы Земли (fM_a)	$0,35 \times 10^9 \text{ м}^3/\text{с}^2$
Скорость света	299 792 458 м/с
Большая полуось эллипсоида	6 378 136 м
Коэффициент сжатия эллипсоида	1/298,257 84
Гравитационное ускорение на экваторе Земли	978 032,84 мГал
Поправка к гравитационному ускорению на уровне моря, обусловленная влиянием атмосферы Земли	0,87 мГал
Вторая зональная гармоника геопотенциала (J_2^0)	$1082625,75 \times 10^{-9}$
Четвертая зональная гармоника геопотенциала (J_4^0)	$(- 2370,89 \times 10^{-9})$
Шестая зональная гармоника геопотенциала (J_6^0)	$6,08 \times 10^{-9}$
Восьмая зональная гармоника геопотенциала (J_8^0)	$1,40 \times 10^{-11}$
Нормальный потенциал на поверхности общеземного эллипсоида (U_0)	$62\,636\,861,4 \text{ м}^2/\text{с}^2$

Геодезическая широта B точки M определяется как угол между нормалью к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора.

Геодезическая долгота L точки M определяется как угол между плоскостью нулевого меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через точку M . Положительное направление счета долгот - от нулевого меридиана к востоку от 0 до 360 градусов.

Геодезическая высота H определяется как расстояние по нормали от поверхности эллипсоида до точки M .

Система ПЗ-90 закреплена координатами трех десятков опорных пунктов Космической геодезической сети (КГС), при этом 7 пунктов установлены в Антарктиде.

Погрешность взаимного положения пунктов при расстояниях между ними до 10000 км менее 30 см. Начало координат совмещено с центром масс Земли с точностью около 1 м. Помимо международных, существуют национальные системы отсчета, называемые в нашей стране референсными. Центры их эллипсоидов часто не совмещены с центром масс Земли. Они устанавливают квазигеоцентрические координаты. Например, в ныне действующей системе координат 1942 г. на референц-эллипсоиде Красовского (СК-42) центр эллипсоида смещен с центра масс Земли более, чем на 155 м. Постановлением Правительства РФ от 28 июля 2000 г. для геодезических и картографических работ с 1 июля 2002 г. установлена единая система координат СК-95; для обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач – геоцентрическая система координат ПЗ-90. Положения точки в пространстве, определенные по координатам указанных геоцентрических систем, могут различаться до десятка метров. Различия же координат геоцентрических и квазигеоцентрических систем значительно больше и могут превысить сотню метров.

Время GPS (GPST) было установлено в полночь с 5 на 6 января 1980 г. и на 19 сек было меньше времени международной атомной шкалы TAI, а в июле 1994 г. опережало ее на 10 сек. Время GPS передается в форме номера недели и поправки времени для каждой «GPS недели». Номера недель исчисляются от 0 до 1023. Неделя с номером 0 была начата 6 января 1980 г., неделя с номером 1023 закончилась 21 августа 1999 г. После этого номер недели был переведен на 0 и счет начался с начала.

GPS работает в системе координат WGS-84 (World Geodetic System, 1984). Начало координат этой системы зафиксировано в центре масс Земли с точностью около 1 м. В таблице 2 для сравнения приведены размеры эллипсоидов, используемых в различных системах координат. GRS-80 – это общеземная геодезическая система отсчета, параметры которой послужили основой для ряда других координатных систем Европы, Австралии и Америки.

Таблица 2. Геометрические параметры эллипсоидов.

Система координат	Полуось а, м	Сжатие α
СК-42, СК-95	6 378 245	1/298,3
ПЗ-90	6 378 136	1/298,257 839 303
WGS-84	6 378 137	1/298,257 223 563
GRS-80	6 378 137	1/298,257 222 101

Физические параметры WGS-84 практически соответствуют параметрам системы GRS-80. Координаты ее пунктов с точностью до нескольких дециметров тождественны координатам ITRF (Terrestrial Reference System), которая поддерживается

Международной службой вращения Земли IERS. Ежегодно, начиная с 1989 г., новейшими методами космической геодезии и позиционированием GPS-приемниками формируется сеть пунктов ITRF. Сеть с высокой точностью закрепляет начало координат в центре масс Земли и ориентирует координатные оси относительно экватора и плоскости меридиана Гринвича. Точность положения пунктов оценивается погрешностью до 10 см. Различия разных общеземных координатных систем обусловлены именно особенностями построения и обработки геодезических сетей.

Что касается высот точек, то в некоторых западных странах используют высоты, отсчитываемые от геоида - ортометрические высоты. В Российской Федерации применяют нормальные высоты, отсчитываемые от квазигеоида. Нормальные высоты, в отличие от приближенных ортометрических, определены строго. Однако, для их нахождения по результатам спутникового позиционирования необходимо располагать высотами квазигеоида.

Способы позиционирования условно классифицируют:

абсолютные (безотносительные) способы определения геоцентрических координат

- автономный (autonomous);
- дифференциальные:
- кодовые определения (DGPS);
- фазовые определения (PDGPS);

относительные способы определения пространственных векторов - базовых линий (relative, baselines):

- статические:
- ускоренная статика (fast, rapid statics);
- псевдостатика (pseudostatics, geoccupation);
- кинематические (kinematics):
- непрерывная (continuous), постобработка;
- «стой и иди» (Stop and Go), постобработка;
- реального времени (Real Time Kinematic - RTK).

Точность способов существенно различна от долей сантиметра до нескольких десятков метров. Наибольшую точность обеспечивают дифференциальные и относительные способы. В их основе лежит предположение, что измерения с двух станций до спутника искажены примерно одинаково: чем станции ближе друг к другу, тем правильнее это утверждение.

Автономное определение координат.

Автономно координаты определяют пространственной линейной засечкой по кодовым псевдодальностям, измеренным до четырех и большего числа спутников. Способ автономный в том смысле, что наблюдатель определяет местонахождение независимо от измерений на других станциях. Способ чувствителен к любым искажениям. Ориентировочные значения средних квадратических погрешностей (СКП) в дальностях, измеренных одночастотным кодовым приемником до отключения режима селективного доступа, даны в табл. 3.

Таблица 3. Источники погрешностей в кодовых дальностях

Источник погрешностей	СКП, м
КА – нестабильность частоты, уход шкалы времени	1–2
КА – эфемериды	1–2
Атмосфера – задержки в верхних и нижних слоях	5–7
АП – нестабильность частоты, уход шкалы времени, шумы, многолучевость	2
SA – избирательный доступ	10

Необходимо учесть и геометрический фактор, из-за которого точность в положении пункта ухудшается в 2-4 раза или более. Точность автономного позиционирования повышают продолжительными (до 10-15 минут) наблюдениями на точке и совместной обработкой всех измерений.

Эффективен способ обработки ряда измерений, когда учитываются изменения псевдодальностей на основе замеров доплеровских смещений несущих частот. По этим замерам определяются скорости изменения псевдодальностей и вычисляются их приращения на данном интервале времени. Измеренные псевдодальности исправляются поправками и этим приводятся к единому моменту измерений. После этого все результаты усредняются. Такой путь лучше простого усреднения тем, что он учитывает реальные изменения псевдодальностей от приемника до спутника. Точность двухчастотных кодовых приемников значительно выше, так как из измерений исключаются ионосферные задержки. Высоты при абсолютном позиционировании кодовыми приемниками определяются очень грубо. Это их существенный недостаток.

Дифференциальный способ.

В дифференциальном способе, в отличие от автономного, измерения одновременно выполняются двумя приемниками. В приемниках должна быть предусмотрена возможность реализации дифференциального режима. Один приемник ставится на пункте с известными координатами. Эту станцию называют базовой, референц-станцией (base or reference station), опорной или контрольно-корректирующей. Другой приемник, подвижный (rover), размещается над определяемой точкой. Поскольку

координаты базовой станции известны, то их можно использовать для сравнения с вновь определяемыми и находить на этой основе поправки для подвижной станции.

Существует несколько способов коррекции. При кодовых измерениях поправки могут вводиться как в псевдодальности, так и в координаты. В первом случае измеренные на базовой станции псевдодальности сравнивают с расстояниями, вычисленными по известным координатам спутника и станции, и определяют их разности. Эти разности, так называемые дифференциальные поправки (differential corrections), передаются на мобильную станцию, например, при помощи дополнительной радиосвязи (радиомодема). Мобильная станция, получив дифференциальные поправки, исправляет свои измеренные псевдодальности и по ним вычисляет координаты.

В другом способе референц-станция вычисляет разности между известными координатами и определенными в автономном режиме, и ими исправляются координаты на подвижной станции. При этом важно, чтобы оба приемника измеряли псевдодальности до одних и тех же спутников. Поправки могут вводиться и в режиме постобработки - при обработке после измерений.

В дифференциальном способе задержки в приемнике пользователя исключаются таким же путем, как и в автономном режиме - по наблюдениям 4 и более спутников. Что касается других систематических погрешностей, то полагается, что они устраняются поправками, так как на каждой станции практически одинаково влияют на измерения. Воздействия атмосферы на разных линиях могут несколько различаться по причинам: а) разные длины трасс и б) локальные неоднородности на трассах. Когда расстояние между станциями < 10 км, то искажения на обеих трассах практически одинаковы.

Точность дифференциального позиционирования зависит от приемников, программного обеспечения и колеблется от дециметров до нескольких метров. Дифференциальное позиционирование на основе кодовых измерений с точностью -5-7 м после отключения селективного доступа (SA) не используется, так как примерно такая же точность обеспечивается автономным позиционированием.

Для передачи дифференциальных поправок используется средневолновый (275-2000 кГц) и УКВ (390-1550 МГц и 3-300 ГГц) радиоканалы. Существуют сотни базовых станций, расположенных в разных странах мира, которые в своих прибрежных зонах передают дифференциальные коррекции в стандартном международном формате RTCM SC-104.

В мире действуют различные навигационные дифференциальные подсистемы (ДПС). Их условно подразделяют на локальные, региональные и широкозонные или глобальные. Локальные ДПС имеют зону действия в радиусе 50-200 км от контрольно-

корректирующей станции (ККС). Точность определения текущего местоположения: от 2 до 4,5 м. К локальным относят также геодезические ДПС с дальностью до 50 км и с дециметрово-сантиметровой точностью. Рабочая зона региональных ДПС простирается от 400-500 до 2000 км. Они могут иметь одну или несколько ККС. Основой широкозонных ДПС является сеть ККС, передающих информацию в центр управления для их совместной обработки. Размер зоны около 5000 км. Примером глобальной ДПС может служить система OmniSTAR. Она использует распределенную по всему миру сеть станций для сбора информации со спутников GPS. Собранные данные передаются в три центра управления, откуда транслируются на борт одного из семи геостационарных спутников. Каждый спутник в пределах своей зоны обслуживания передает дифференциальные поправки пользователям. Пользователи получают поправки по подписке. Имеются два варианта подписки. Один вариант – подписка Виртуальной базовой станции (Virtual Base Station - VBS). В этом случае на основе информации от всех станций сбора рассчитывается оптимальная для данного местоположения приемника дифференциальная поправка, и гарантируется субметровая точность. Другой более дешевый вариант – это подписка Виртуальной референцной ячейки (Virtual Reference Cell-VRC). Дифференциальная поправка рассчитывается не на любую точку местонахождения приемника, а только на одну указанную пользователем позицию.

Статика.

Как и в дифференциальном способе, аппаратуру устанавливают на двух станциях, например А и В. Одну из них также называют базовой или референц-станцией. Никаких коррекций не определяют, а формируют разности из наблюдений на станциях. В статике по разностям, свободным от многих искажений, вычисляют соединяющий эти станции пространственный вектор D:

$$6. \quad D = (X_B - X_A, Y_B - Y_A, Z_B - X_A).$$

Базовая станция должна иметь точные координаты, чтобы по измеренным приращениям можно было бы вычислить координаты остальных пунктов геодезической сети. Благодаря измерению приращений координат и применению фазового метода погрешности в результатах сведены к нескольким сантиметрам. Эти способы являются основными в геодинамических и важнейших геодезических работах.

Точность статики зависит от продолжительности измерений. Измерения в течение 5 мин обеспечивают дециметровую точность. Обычно продолжительность наблюдений на паре станций составляет около одного часа. За это время происходит накопление измерений, выполняемых через интервалы от 1 с до 5 мин. При увеличении

продолжительности наблюдений с 1 до 6 ч СКП уменьшается более, чем в 1,5 раза. Экономически статику целесообразно использовать с двухчастотными приемниками на расстояниях между ними более 10 км. Одночастотные приемники по результатам уступают двухчастотным и их целесообразно применять на расстояниях при длинах базовой линии только до 10 км. Меньшую продолжительность наблюдений имеет способ ускоренной статики, где имеет место активный поиск чисел неоднозначности. Главная цель - как можно быстрее разрешить неоднозначность. Время этих измерений согласовано с количеством наблюдаемых спутников. Так, при 5 спутниках наблюдения длятся до 20, а при 6 - до 10 минут.

Еще менее трудоемки наблюдения в разновидности статики - в методе реокупации (иначе его называют псевдостатикой и даже псевдокинематикой). Подвижный приемник на станции принимает сигналы примерно в течение 10 мин. Затем его переносят на другие пункты. По истечении часа приемник возвращают на прежние пункты и продолжают сбор данных. Таким образом, непрерывность измерений на базовой станции сохраняется, а на подвижной станции они зафиксированы только в начале и в конце часового интервала. Одновременное наблюдение спутников GPS и ГЛОНАСС позволяет достичь сантиметровой точности в 3-6 раз быстрее.

Кинематика.

Для съемочных и других работ, требующих значительных передвижений на местности и сравнительно кратковременных наблюдений на точке, предложен ряд разновидностей способов кинематического позиционирования. Используют как двухчастотные, так и одночастотные приемники. Измерения начинают со станций А и В, координаты которых и, следовательно, базовый вектор D между ними уже должны быть известны.

Процесс привязки подвижного приемника к базовому вектору называют инициализацией (от англ. *initiate* - начать). Ее цель - разрешить неоднозначность на известном базисе D. Применяют несколько способов инициализации:

1. Положение базового вектора известно точнее 5 см. Приемники устанавливают на его концах и наблюдают несколько минут.
2. Базовый вектор неизвестен. Его определяют статическим позиционированием.
3. Применяют способ перестановки антенн (Antenna Swapping).

Антенну одного приемника устанавливают над пунктом базовой станции, антенну другого - в стороне на 5-10 м и выполняют измерения. Затем, не трогая треног, антенны меняют местами и вновь выполняют измерения. После этого антенны возвращают на исходные позиции и проводят измерения.

Инициализация на лету (On The Fly - OTF).

Инициализацию производят по 4 и более спутникам. После этого производят измерения: работающий приемник перемещают в некоторую другую точку, определяют ее координаты и т. д. Измерения ведут обязательно по одним и тем же спутникам. При перемещении приемник нельзя выключать. В случае потери сигналов спутников вновь применяют OTF или измерения повторяют, начиная с пункта с известными координатами.

В практике позиционирования применяют сложные технологические схемы с повторными

заходами на определяемые пункты и на пункты с известными координатами.

Способ непрерывной кинематики позволяет «цифровать» контуры на местности, т.е. не останавливаясь перемещаются с приемником по контуру, который через заданные интервалы времени фиксирует координатами. Способ «стой-иди» предусматривает возможность остановиться на точке, выполнить более длительные измерения, а затем продолжить движение. В этих способах полевые наблюдения и обработка разделены во времени.

Способ кинематики реального времени (RTK) применяется тогда, когда имеется цифровой радиоканал и данные с базового приемника передаются на подвижный. В реальном времени сегодня почти все работы выполняются только двухчастотными приемниками. Ориентировочно точность кинематического позиционирования характеризуется СКП $(10-20 + 20D_{\text{км}})$ мм.

Фазовый метод.

Фазовым методом выполняются наиболее точные измерения. Расчетная инструментальная погрешность составляет около 0,01 от длины волны. Определение ориентации различных объектов с помощью ГНСС в основном основывается на использовании идей приема сигналов НКА разнесенные антенны. При этом между антеннами образуются базы, и возникает разность фаз сигналов, принимаемых на каждую антенну за счет разности хода сигналов НКА (рис. 1).

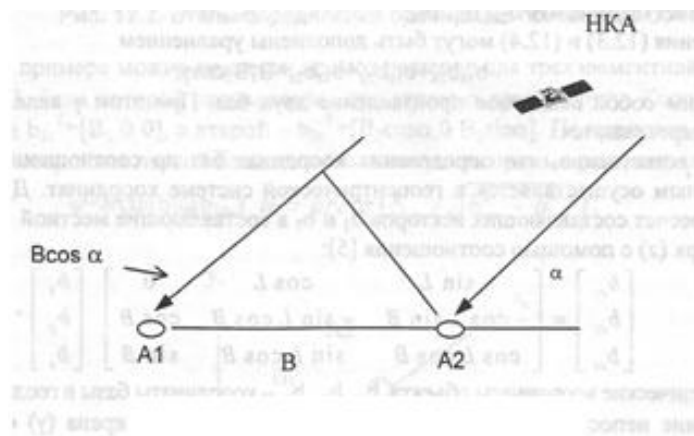


Рис. 1. Формирование разности фаз сигналов за счет разности хода сигналов НКА.

Предположим, имеются идеальные условия - спутник относительно приемника неподвижен, электромагнитные колебания генераторов КА и приемника строго синхронны, их частоты и начальные фазы одинаковы. Тогда в приемнике фаза пришедших волн будет отставать от фазы местных колебаний на величину, пропорциональную времени пробега волной расстояния R от спутника до наземной станции. Тогда

$$7. R = \Delta\phi\lambda/2\pi = \lambda (N + \Phi),$$

где $\Delta\phi = \phi_{\text{пр}} - \phi_{\text{КА}}$, Φ доля, а N целое число волн λ в расстоянии R .

Важной особенностью является то, что измеряется только величина Φ , число N из измерений получить невозможно. Как только приемник поймал сигнал спутника, он начинает отслеживать и измерять изменения разностей фаз, обусловленные движением спутника. После каждого изменения расстояния от спутника до приемника на длину несущей волны, фаза этого сигнала меняется на один цикл. Поэтому измеряемая часть фазы несущей волны содержит не только долю, но и целое число циклов, фиксируемых с момента вхождения в синхронизм с принимаемым сигналом. Однако, остается неизвестным целое число циклов N , которое было до установления связи. Неоднозначность фазовых измерений не устраняется. Нужны дополнительные условия для нахождения чисел неоднозначности N .

Кроме того, вместе со спутником перемещается его передатчик. Вследствие перемещения передатчика возникает эффект Доплера. Если спутник движется навстречу приемнику, то последний в единицу времени принимает больше волн по сравнению с неподвижным спутником. Это означает, что принимаемые волны стали короче, а частота колебаний больше. С удалением спутника картина меняется на обратную - принимаемые волны удлиняются, а частота уменьшается. Частота принимаемого с дистанции сигнала отличается от частоты излучаемого сигнала на величину доплеровского сдвига частоты.

Приемник осуществляет поиск пришедшего сигнала в диапазоне возможных доплеровских частот и выполняет подстройку под его частоту и фазу.

Дальности, определяемые по фазе несущей, для краткости будем называть фазовыми. В сущности, это псевдодальности. Однако, обычно термин псевдодальность применяют к кодовым измерениям. Фазовая дальность P отличается от геометрического расстояния R между приемником и спутником на величины, определяемые отличием шкал времени соответственно на спутнике и в приемнике от шкалы системного времени.

Один из способов разрешения неоднозначности является совместная обработка фазовых и кодовых измерений. Другой распространенный способ – это использование избыточных фазовых измерений. Все измерения обрабатываются по методу наименьших квадратов, а в число определяемых неизвестных параметров включается и числа неоднозначности N . Причем обработка ведется на разных комбинированных волнах. Определения фазовых дальностей на комбинированных волнах. Использование обеих несущих волн $L1$ и $L2$ предоставляет дополнительные возможности в разрешении неоднозначности фазовых измерений и устранении влияний внешних факторов.

В случаях, когда позиционирование ведется в движении, то в начале каким-либо способом, например, по измерениям на пунктах с известными координатами, определяются числа неоднозначности N . Затем, продолжая измерения по тем же спутникам, непрерывно фиксируют приращения чисел N , обусловленные изменениями дальностей вследствие движений приемника и КА.

Определение скорости движущегося объекта.

Определение скорости движущегося в некотором направлении приемника (вектора скорости) – это составная часть позиционирования. Вектор скорости движения приемника определяется по радиальным скоростям спутников, т. е. по скоростям изменения расстояний между спутниками и приемником. В свою очередь радиальные скорости определяются по измерениям в приемнике доплеровских сдвигов частот сигналов спутников. Определению подлежат скорости изменения каждой координаты приемника, которые определяют вектор его скорости.

В действительности все усложняется тем, что в приемнике частота приходящего от спутника сигнала может сравниваться не с ее номинальным значением на орбите, а лишь с той частотой, которую имеет соответствующий сигнал в самом приемнике. Поэтому практически будет определена не радиальная скорость, а радиальная псевдоскорость, где сдвиг обусловлен отличием истинной скорости от определяемой псевдоскорости. Он одинаков для всех отслеживаемых данным приемником спутников и входит в уравнения определения вектора скорости в качестве дополнительного неизвестного. Для того чтобы

его исключить и определить скорость V движения приемника в заданном направлении, надо знать координаты как минимум четырех спутников, знать скорости изменения этих координат, измерить псевдодалности до этих спутников и псевдоскорости их изменения. Тогда по псевдодалностям будет решена пространственная линейная засечка, найдены координаты приемника, а затем вычислены скорости изменения этих координат и скорость перемещения приемника. По разным данным, в зависимости от используемой аппаратуры, значения скорости определяются с погрешностями от 5 до 20 см/с.

Примерные контрольные тесты.

1. *Опорной шкалой времени для системы ГЛОНАСС является шкала*
TUTC
UTC(SU)
GPST
2. *Расхождение между шкалой системного времени ГЛОНАСС и UTC(SU) не должна превышать*
1 мс
1 с
10 мс
3. *Поправки к шкале системного времени ГЛОНАСС относительно UTC(SU) закладываются на борт каждого НКА*
1–2 раза в сутки
1 раз в неделю
1 раз в месяц
4. *Шкала системного времени ГЛОНАСС корректируется одновременно с плановой коррекцией*
на целое число секунд шкалы UTC
на 1/10 число секунд шкалы UTC
на произвольное дробное число секунд шкалы UTC
5. *Коррекция шкалы UTC производится с периодичностью*
0,5 – 1 раза в год
1 – 1,5 раза в год
2 – 2,5 раза в год

Лекция 2.1. Геодезическое спутниковое оборудование и его характеристики

Содержание.

1. Геодезическая навигационная аппаратура потребителя.
2. Комплекты спутниковых приемников.
3. Программное обеспечение ГНСС.
4. Оборудование для навигационной аппаратуры

Тема 2.1. Спутниковое геодезическое оборудование

Аппаратура для приёма спутниковых радиосигналов (спутниковый приёмник) состоит из следующих функциональных элементов:

- 1) антенны;
- 2) блока приёма радиосигналов;
- 3) микропроцессора;
- 4) блока управления;
- 5) блока индикации с дисплеем;
- 6) запоминающего устройства;
- 7) устройства связи с внешней ЭВМ;
- 8) блока питания.

Клавиатура блока управления и дисплей являются органами управления приёмника. В конкретных конструкциях спутниковых приёмников перечисленные элементы могут быть скомпонованы в один или несколько блоков. Должна быть обеспечена возможность размещения антенны отдельно от блоков управления и индикации на специальной вехе, устанавливаемой на пикете.

Для производства работ по наблюдению исходных пунктов спутниковых городских геодезических сетей допускается применять двухчастотные двухсистемные спутниковые приемники 1 группы. На каркасных сетях (КС) и спутниковых городских геодезических сетях 1 класса (СГГС-1) допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников 1 и 2 группы. На спутниковых городских геодезических сетях 2 класса (СГГС-2) допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников 1 и 2 группы и, в виде исключения, допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников 3 группы. Типы и группы геодезических спутниковых приемников приведены в таблице 1.

Тип приемника	Группа	Число каналов не менее	Частоты	Точность
Двухсистемные двухчастотные и более	1	24	L1/L2(GPS)+ L1/L2(ГЛОНАСС)	3 мм+ $1 \cdot 10^{-6} D$
Односистемные двухчастотные	2	9	L1/L2(GPS) или L1/L2(ГЛОНАСС)	(3-5) мм + $1 \cdot 10^{-6} D$
Односистемные одночастотные	3	9	L1(GPS) или L1(ГЛОНАСС)	10 мм+ $2 \cdot 10^{-6} D$

Односистемная геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС – это геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС, принимающая радионавигационные сигналы только одной глобальной навигационной спутниковой системы.

Двухсистемная геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС – это геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС, принимающая радионавигационные сигналы двух глобальных навигационных спутниковых систем.

Многосистемная геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС – это геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС, принимающая радионавигационные сигналы более двух глобальных навигационных спутниковых систем.

Одночастотная геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС – это геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС, принимающая радионавигационный сигнал с борта навигационного космического аппарата ГНСС на частоте L1.

Двухчастотная геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС: Геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС, принимающая радионавигационный сигнал с борта навигационного космического аппарата ГНСС на частотах L1 и L2.

Многочастотная геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС: Геодезическая навигационная аппаратура потребителя ГНСС, принимающая радионавигационный сигнал с борта навигационного космического аппарата ГНСС более чем на двух частотах.

Комплекты спутниковых приемников должны быть сертифицированы для применения на территории РФ и метрологически аттестованы в установленном порядке. Приёмники, предназначенные для производства работ по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа, должны быть сертифицированы для геодезического применения в Российской Федерации и иметь свидетельства о поверке. Поверку необходимо выполнять ежегодно перед выездом на полевые работы. Ответственными за проведение сертификации и получение свидетельства о поверке являются метрологические службы предприятий и организаций, выполняющих съёмочные работы.

Приёмники, предназначенные для производства работ по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа, должны соответствовать следующим техническим требованиям:

- должно иметься не менее 6 каналов приёма радиосигналов;
- должна быть обеспечена возможность измерения фазы несущего радиосигнала;
- встроенное программное обеспечение должно поддерживать необходимые для работы методы спутниковых определений;
- во время наблюдения спутников должна обеспечиваться возможность получения и вывода на дисплей следующей основной информации:
 - 1) числа наблюдаемых спутников;
 - 2) числа эпох наблюдений;
 - 3) значения фактора PDOP (или GDOP);
 - 4) сообщения о потере связи;
- должна быть обеспечена возможность ввода, хранения и вывода в ЭВМ семантической информации;
- комплект приёмника должен входить программный пакет для ЭВМ, обеспечивающий вычислительную обработку, входящий в комплект приёмника программный пакет для ЭВМ должен обеспечивать прогнозирование спутникового созвездия;
- для использования съёмки ситуации и рельефа приемники должны иметь минимальный вес и габариты.

В состав комплекта аппаратуры зависит от метода спутниковых определений, но в общем случае для полевых работ необходимо следующее:

- приёмник в составе блоков, содержащих функциональные элементы, указанные и принадлежностей, необходимых для приведения его в рабочее состояние (кабелей и др.);
- укладочная тара для хранения и перемещения приёмника (футляр, рюкзак и т. п.);
- устройства для установки приёмника на точке (штатив, веха, трегер, адаптеры и т.п.).

Все спутниковые геодезические системы можно разделять по сферам применения на приемники: геодезические; ГИС (картографические); референчные (базовые) станции, каждый из которых имеет свою специфику. Для более детального анализа необходимо рассмотреть функциональные характеристики современной аппаратуры спутникового позиционирования.

Главное, что характеризует класс приемника спутникового позиционирования, точность определения местоположения, и не последнюю роль тут играют технологии, применяемые при создании приборов.

Для приборов любительского класса (потребительские) основное внимание уделяется их стоимости, что отражается на используемых материалах и технических разработках. Для таких приемников, как правило, доступны только кодовые измерения,

так как возможность использования дифференциальных поправок повысила бы их цену. Потребительский спрос диктует требования к размеру приборов они должны помещаться в карман, а также обладать возможностью интегрирования с карманными персональными компьютерами. Приборы любительского класса, как правило, просты в использовании и не требуют профессиональной подготовки. Точность определения местоположения с помощью подобных устройств обычно составляет 3-15 м.

Приемники картографического класса относятся к профессиональной аппаратуре, поэтому технология их изготовления ориентирована на обеспечение максимальной надежности приборов. Алгоритмы понижения влияния многолучевости, использование данных базовых станций для дифференциальной коррекции, функции планирования сеанса наблюдений применяются для достижения точности позиционирования в пределах 0,5 м. Разумеется, такая точность возможна лишь при использовании дифференциальной коррекции измерений. Контроль точности определения местоположения доступен на всех этапах сбора данных. Качество получаемых данных с достаточной уверенностью можно определить уже на стадии проведения работ в полевых условиях. Приемники картографического класса по сути являются кодовыми, но с поддержкой фазовых измерений. т. е. в пределах коротких периодов наблюдения спутников. Точность приемников определяется как субметровая. Длительными наблюдениями на точке точность можно повысить до первых дециметров.

Задачи, решаемые с использованием приборов геодезического класса, требуют точности в пределах первых сантиметров, а иногда и миллиметров. Приемники этого класса ведут измерения по фазе в пределах цикла несущей частоты. Нахождение неоднозначности числа циклов определяет точность приборов. Кроме геометрической точности при определении местоположения большое значение имеет атрибутивная информация, характеризующая объект съемки. При формировании объекта может возникнуть необходимость в различных типах предикатов время, дата, описание, целое число, логические данные и др. Иногда требуется создать базу данных непосредственно в полевых условиях. При этом определяющую роль будет играть программное обеспечение, используемое для сбора и обработки данных.

Приемники любительского класса обычно не оснащены операционной системой. Их функциональность определяется программным аппаратом, заложенным производителем. Поэтому возможность описания объекта чаще всего сводится к присвоению точке номера, а характеристики фиксируются на отдельных носителях. Вероятность ошибки в этом случае возрастает многократно, да и объем памяти приборов ограничен. Ситуация кардинально иная, если речь идет о компьютере (контроллере) со

встроенным приемником спутникового позиционирования. Мобильные ГИС позволяют создавать полноценные информационные слои непосредственно в полевых условиях. В этом случае большую роль играет защищенность приборов от воздействия внешней среды. Далеко не каждый компьютер может работать в условиях повышенной влажности и низких температур.

Принцип использования операционных систем лег в основу создания приемников спутникового позиционирования картографического класса. Пользователь сам определяет, какой программный продукт лучше подходит для решения тех или иных задач. Большинство современных приемников спутникового позиционирования управляются программным обеспечением на многофункциональных операционных платформах (Windows CE, Windows Mobile 2003, Windows Mobile 2005).

К программному обеспечению для геоинформационного картографирования в полевых условиях предъявляется ряд требований. Оно, в частности, должно обеспечивать возможность корректирования получаемых данных как в режиме реального времени, так и при постобработке, присвоения разного типа атрибутивной информации, а также загрузки существующих ГИС и растровых подложек. Необходимы функции навигации для выхода на точку. Таких требований, диктуемых интересами пользователей, может быть много. Поэтому действительно полноценных продуктов для создания ГИС в полевых условиях на рынке в настоящее время не так много.

Принципы управления современными профессиональными приемниками геодезического класса не отличаются от общепринятых, т. е. работу аппаратуры контролируют специальные устройства с операционными системами, но основной акцент делается не на атрибутивную информацию и графические возможности программного обеспечения, а на методы съемки, определяющие ее точность.

Приемники спутникового позиционирования картографического класса разработаны для сбора и хранения пространственной и атрибутивной информации. Их основная задача создать новую или «перенести в полевые условия» существующую ГИС, провести съемку или корректирование объектов (внедрить информацию в ГИС). В принципе, прибор картографического класса можно использовать для приближенного определения местоположения, но тогда возникнет вопрос «цены решения».

С точки зрения предназначения приемники для ГИС должны быть: достаточно точными (в пределах 1 м); компактными (съемка географических объектов зачастую сопряжена с перемещениями на большие расстояния) оптимально карманного размера; максимально функциональными (не требовать дополнительного оборудования или аксессуаров); прочными, влагонепроницаемыми, морозоустойчивыми и

энергосберегающими. Один из важнейших критериев работы приемников картографического класса время, затрачиваемое на измерение с максимально возможной точностью. Поэтому при разработке данного типа приборов особое внимание уделяется сокращению времени, необходимого для достижения точности 0,5-1 м. Сейчас такое решение возможно при продолжительности наблюдений на точке в течение 1 мин или менее.

Приборы геодезического класса имеют широкое применение: развитие опорных геодезических сетей, проведение нивелирных работ, геодезическое обеспечение строительных работ и многое другое, где требуется высокая точность. Хотя главным критерием качества для приемников геодезического класса является точность, также важно учитывать степень защиты от влаги, механических повреждений и амплитуду рабочих температур. Эти требования жестче, чем для приемников картографического класса. В геодезическом классе под приемником чаще подразумевается комплект аппаратуры (антенна, приемник, аккумулятор, контроллер), размещенный на штативе или вехе. Даже варианты, предлагающиеся для кинематической съемки, обычно предусматривают размещение прибора в рюкзаке исследователя, а антенны на крепящемся кронштейне. Кроме того, непосредственное описание точки не так уж важно при геодезических работах, куда важнее условия и время проведения съемки, параметры созвездия спутников. Поэтому в специализированном программном обеспечении, как правило, отсутствует возможность присваивать точке какие-либо характеристики кроме текстового комментария.

Контроллер – это специализированное техническое устройство, предназначенное для управления другими устройствами путем получения информации в виде цифровых данных или аналого-дискретного сигнала от внешнего устройства (ЭВМ, датчики или иное устройство), преобразования этой информации по специальному алгоритму и выдачи управляющих воздействий в виде цифрового или аналого-дискретного сигнала. Чаще всего контроллеры представляют собой программируемые устройства, имеющие в своем составе программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) или специализированные процессоры. Контроллер определяет возможность использования программного обеспечения и сам по себе является универсальным устройством, позволяющим управлять как приемниками спутникового позиционирования картографического и геодезического классов, так и, например, электронным тахеометром.

Основным критерием выбора контроллера должен быть не столько объем жесткого диска, хотя и это важный момент, сколько тактовая частота процессора, обеспечивающего быстроедействие системы, что принципиально для приемников спутникового

позиционирования для картографии и ГИС, которые зачастую оперируют обширными растровыми и векторными изображениями.

Антенны, встроенные в профессиональные приемники спутникового позиционирования, разработаны для качественного приема сигнала в сложных условиях. Обычно используются антенны микрополоскового типа, они значительно более чувствительны, нежели антенны навигаторов. Большое значение для высокоточных навигационных измерений имеет знание точного положения фазового центра антенны, так как ошибки в определении положения фазового центра непосредственно влияют на точность определения навигационных параметров объектов.

Фазовый центр антенны приемника – это точка во внутреннем пространстве антенны, в которую поступает информация об измерениях. Высота антенны – это расстояние по отвесной линии между центром геодезического пункта и точкой относимости антенны, находящейся на оси ее вращения. В общем случае фазовый центр не совпадает с точкой относимости антенны ни в плане, ни по высоте. Взаимное положение фазового центра и точки относимости антенны определяется разработчиком и заносится в эксплуатационную документацию (или/и в программу обработки). Процедура разворота антенны, таким образом, чтобы специальная отметка (стрелка) на ее поверхности была направлена на север называется ориентированием антенны (или геодезического приемника).

Антенны, предназначенные для базовых станций, должны соответствовать следующим техническим требованиям:

- 1) возможность приема сигналов GPS/ГЛОНАСС диапазонов L1 и L2 (отслеживание с частотой 10 Гц);
- 2) высокая стабильность фазового центра (< 1 мм);
- 3) наличие экрана для переотраженных сигналов;
- 4) устойчивость антенны к RF-искажениям.

Рекомендуется использовать антенны типа Choke-ring, снабженные специальным экраном с кольцами для защиты от переотраженных спутниковых сигналов.

Аккумуляторы, поставляемые с приборами, позволяют работать в течение рабочего дня (около 9 ч), а внешние комплекты питания дают возможность значительно увеличить продолжительность ведения измерений. Амплитуда рабочих температур рассматриваемого класса приборов колеблется от -20° до $+60^{\circ}\text{C}$, что дает возможность работать и в жару, и мороз. Предусмотрена высокая степень защиты от механических повреждений.

Приборы спутникового позиционирования картографического класса поставляются

с операционными платформами, которые совместимы с любым программным обеспечением, рассчитанным на использование данного типа платформ. Современное программное обеспечение для мобильных ГИС решает следующие задачи: съемка точечных, линейных или полигональных объектов; контроль качества съемки пространственных объектов, оценка точности; планирование съемки: расчет наиболее благоприятных периодов в течение суток; навигация: возможность выхода на точку с известными координатами; загрузка в качестве основы слоев ГИС или растровых изображений; ввод атрибутов, характеризующих объект; определение атрибутов разных типов: числовых, текстовых, логических и др.; установление правил контроля содержания вводимой информации; автогенерация часто повторяющихся значений; ввод информации с внешних датчиков; прием поправок в режиме реального времени; преобразование данных съемки в различные системы координат непосредственно в полевых условиях.

Это лишь краткий список возможностей программного обеспечения, задействованного при работе с приемниками спутникового позиционирования картографического класса. Использование подобных приборов характеризуется постоянным взаимодействием с офисными ГИС. Именно поэтому функциям импорта/экспорта уделяется особое внимание. Перенос информации из мобильной в офисную ГИС и обратно проходит без потери пространственной и атрибутивной информации. И более того, существует возможность генерации полей, характеризующих качество съемки (значение DOP, SNR) или содержащих дополнительную информацию об объекте (высота, площадь, длина).

Во всем мире насчитывается более 70 компаний, производящих GNSS-оборудование геодезического класса. На сегодняшний день в России наиболее широко представлены следующие фирмы-производители аппаратуры геодезического класса: Javad, Leica Geosystems, NavCom Technology Inc., NovAtel, Septentrio, Topcon-Sokkia, Trimble Navigation.

Компания Trimble Navigation Ltd. является крупнейшим в мире изготовителем ГНСС аппаратуры. На рынке представлен широкий диапазон геодезического оборудования, среди которого есть и ГНСС-приемники. Компания была основана в 1978 г. Чарли Тримблом, которому приписывают выпуск на рынок первого гражданского одночастотного приемника Trimble 4000A, работавшего по кодам GPS. Компания Trimble выпускает спутниковую аппаратуру для самых разнообразных целей, включая топографические съемки, высокоточные геодезические сети, морская, воздушная и наземная навигация, контроль механизмов и управление машинами, передача и хранение

точного времени и т.д. Эта аппаратура применяется и для научных исследований, и в сельском хозяйстве, на транспорте и в строительстве, для создания ГИС и т.д.

Приемник Trimble R8 GNSS оснащен встроенным приемопередающим УКВ радиомодемом или GSM модемом, что обеспечивает исключительную гибкость при его использовании в качестве подвижного или базового приемника. При работе приемника в качестве базовой станции встроенная функция NTRIP Caster обеспечивает настраиваемый доступ к поправкам от базовой станции через Интернет.

Приемник Trimble R10 разработан для увеличения производительности геодезических работ. Объединив в едином компактном корпусе целый ряд новейших технологий, таких как Trimble HD-GNSS, Trimble SurePoint и Trimble xFill, приемник Trimble R10 принимает все спутниковые сигналы GNSS, позволяя геодезистам быстрее и проще выполнять измерения в самых сложных окружающих условиях. Технология Trimble R-Track с функцией Signal Prediction позволяет компенсировать прерывистые или слабые сигналы с RTK-поправками, обеспечивая возможность работы с приемлемой точностью даже при потерях RTK-сигнала. В приемнике представлены новые технологии Trimble: HD GNSS, Trimble 360, Trimble xFill, Trimble SurePoint.



Рис. 1. Приемник Trimble R10.

К усовершенствованным функциям относится и встроенный в приемник веб-интерфейс, который позволяет отказаться от любых дополнительных утилит по настройке приемника и скачиванию с него данных. Благодаря возможности подключения к приемнику по Wi-Fi, скачивание данных и настройка приемника может производиться как с ПК, так и напрямую с любого смартфона (используя мобильный веб-интерфейс), оснащенного модулем Wi-Fi. Скачивание данных стало намного удобнее благодаря наличию возможности подключения к приемнику по USB.

Компания Trimble совместила в одном компактном корпусе GSM/GPRS/3.5G приемный модем со встроенной антенной (доступен во всех модификациях) и приемопередающий 2-х ваттный УКВ модем (доступен в модификациях со встроенным УКВ модемом) с расширенным частотным диапазоном 410-470 МГц, который может работать как от компактной антенны, так и от внешней УКВ антенны.

Прибор оснащается новыми батареями повышенной емкости, позволяющие работать в режиме RTK до 4-х часов при передающем модеме, установленным на мощность 2 Вт. В комплект входит две батареи, которые оснащены индикаторами

заряда батареи для удобной проверки состояния аккумулятора. На данный момент приемник Trimble R10 может быть представлен следующими комплектациями:

R10 без встроенного УКВ радиомодема (R10-001-00),

R10 со встроенным УКВ радиомодемом (R10-001-60).

Отметим лишь некоторые функции и возможности приемника Trimble R10:

- технология ускоренного сбора точных данных;
- постоянное отслеживание вертикальности вехи;
- отбраковка точек при наклоне вне допуска;
- съемка в автоматическом режиме без нажатия на кнопок контроллера;
- продолжение точной съемки без перерывов – при временных потерях связи (RTK поправки) с базовой станцией или VRS сетью;
- основной источник RTK коррекции + дополняющие данные RTX сервиса;
- автоматический переход туда и обратно;
- сервис по созданию и доставке спутниковых коррекций (точные орбиты, часы, модели смещений измерений) пользователям во всем мире основан на данных глобальной сети базовых станций Trimble;
- доступ к серверам управляется Trimble;
- данные транслируются в формате, совместимом с CMRx
- Два способа доставки потока коррекций: спутниковый (L-диапазон) и IP (сотовые сети).

Рассмотрим особенности работы приемника в режиме Trimble xFill:

- Два источника коррекций, основной и дополняющий,
- Автоматический переход между источниками,
- Качество RTX достаточно высоко (до 4 см после сходимости),
- Сходимость достигается с помощью RTK,
- Для запуска Trimble xFill должен быть запущен основной источник RTK (одиночная база или VRS) – и необходимо выполнить хотя бы одно измерение с требуемой точностью,
- Время сходимости после запуска Trimble xFill – мгновенно,
- Максимальная потеря основного источника коррекций – до 5 минут,
- Постепенное линейное снижение точности 1 см/мин (план) и 2 см/мин (по высоте)

Предусмотрено соединения любых типов по Serial, а также по USB, Bluetooth или Wi-Fi. Настройка, работа и состояние приемника, передача данных происходит без контроллера и использованием ноутбука или смартфона. Данные с R10 можно скачать разными способами: по кабелю Lemo - USB PC (Trimble R10 отображается как внешний диск Trimble Data), через адаптер USB (сначала на флэш-карту, а затем в компьютер), через Web GUI в меню «Передача данных» (интерфейс Web GUI также позволяет скачать

данные в других форматах, например, в RINEX), обычным “традиционным” кабелем Lemo - DB9 с номером P/N 89851-00 (59046) или P/N 89853-00 (59044). Приемник имеет также огромную встроенную память 4 Гигабайта, что дает на 3 года записи сырых измерений примерно 1.4 Мб/день, запись каждые 15 секунд данных в среднем 14 спутников. Модель имеет встроенный широкодиапазонный УКВ 410 – 470 МГц модем с режимами работы: 1) только на прием, на прием и передачу 0.5 Вт; 2) на прием и передачу 2 Вт (до 7 км!), малую УКВ радиоантенну с SMA разъем и внешнюю УКВ антенну. Время работы от одной батареи

- С УКВ модемом на прием 5.5 часов
- С УКВ модемом на прием и передачу 0.5 Вт 4.5 часа
- С УКВ модемом на прием и передачу 2 Вт 3.7 часа
- С сотовым модемом 5.0 часов

Приемник имеет встроенную поддержку OmniSTAR, что позволяет получать дифференциальную коррекцию от геостационарных спутников, поддерживать сервисы HP, XP, G2, VB, но подписка является платной. Функциональные особенности приемника R10 в сравнении с предыдущими моделями показаны в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение функций приемников ГНСС разного класса фирмы Trimble.

								
	Trimble R10 GNSS	Trimble R8 GNSS	Trimble R7 GNSS	Trimble R6	Trimble R5	Trimble R5 Geofence [®]	Trimble R4	Trimble R3
	PREMIUM (L5, GLONASS)			ADVANCED (L2C, GLONASS опция)		STANDARD		
Recon + TDFB	нет	нет	нет	нет	нет	+ ^{опция}	+	+
TSC3/TCU + TA	+	+	+	+	+	опция ^{опция}	+ ^{опция}	нет
Поддержка VRS сетей	+	+	+	+	+	+	+	нет
CMRx	+	+	+	+	+	+	+	нет
GPS L1/L2	+	+	+	+	+	+	+	нет
GPS L2C	+	+	+	+	+	+	нет	нет
GPS L5	+	+	+	нет	нет	нет	нет	нет
ГЛОНАСС	+	+	+	опция	опция	опция	опция	нет
Galileo	+	+	нет	нет	нет	нет	нет	нет
COMPASS	+	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
OmniSTAR	+	нет	опция	нет	нет	нет	нет	нет
Встроенный УКВ на прием	+	+	+	+	+	+	+	нет
Встроенный УКВ на передачу	+	опция	нет	опция	нет	нет	опция	нет
Bluetooth	+	+	+	+	нет	нет	+	нет
Wi-Fi	+	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
WebUI	+	+	+	нет	нет	нет	нет	нет
Удаленная настройка по GPRS	+	+	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Встроенный GPRS модем	+	опция	нет	опция	нет	нет	опция ^{опция}	нет
Передача по GPRS (NTRIP Caster)	+	+	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Частота обновления	20 Гц	20 Гц	20 Гц	10 Гц	10 Гц	10 Гц	10 Гц	-
Каналов	440	220	72	72 (220)	72	72	72 (220)	12
Встроенная память	4 Гб	57 Мб	CompactFlash	11 Мб	CompactFlash	CompactFlash	11 Мб	CompactFlash

Компания Тримбл совместно с концерном Российские космические системы создало предприятие по производству инфраструктурных приемников, предназначенных для сетей референчных станций.

Инфраструктурный ГНСС-приемник «ФАЗА+» (рис. 3) используется в качестве базовой станции, и предназначен для определения относительных координат пунктов с использованием наблюдений навигационных спутников, формирования дифференциальных коррекций и передачи их потребителю. Приемник разработан на базе самых современных технологий, и предназначен для работы в составе сети, но может применяться и как единичная референсная станция.



Рис. 3 Приемник «ФАЗА+»

Гибкая программная архитектура позволяет настроить функции приемника в зависимости от поставленных задач, при этом настройка оборудования может осуществляться непосредственно на приемнике, без подключения сторонних устройств, либо через web-интерфейс. Работа со всеми устройствами, включенными в сеть может проводиться удаленно, при этом контроль работы устройств осуществляется в режиме реального времени из командного центра. Интерфейс «ФАЗА+» интуитивно понятен русскоязычному пользователю, что позволяет осуществлять весь спектр монтажных и пусконаладочных работ с минимальными временными затратами, и в полной мере использовать все возможности устройства.

В условиях расширения спутниковых группировок ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou, важным фактором является количество приемных каналов. Наличие 440 каналов гарантирует, что «ФАЗА+» будет работать без необходимости замены или модернизации в течение нескольких десятков лет с минимальным вмешательством оператора.

«ФАЗА+» располагает встроенной памятью в 8Гб, что гарантирует от 3 до 6 месяцев (в зависимости от формата хранимых данных) бесперебойной работы. К приемнику могут быть подключены внешние хранилища данных объемом более 1 Тб. В сочетании с аккумуляторной батареей, рассчитанной на 15 часов бесперебойной работы, гарантируется надежная сохранность данных. В случае отказа основного питания или неполадок связи, приемник продолжит работу, и автоматически передаст данные, как только связь будет восстановлена. Кроме того, батареи являются аккумуляторными в полном смысле этого слова. После автономной работы, батареи накопят заряд, и через некоторое время вновь будут готовы к использованию без необходимости замены.

«ФАЗА+» существенно расширяет возможности работы в режиме RTK, и, в составе сети, позволяет определять координаты в реальном времени с точностью с.к.о. 8мм в плане и с.к.о. 15мм по высоте. «ФАЗА+» может использоваться как для уплотнения, расширения или модернизации существующих сетей, так и для создания новых, независимо от их масштаба «ФАЗА+» является технологичным, надежным и при этом доступным отечественному профессионалу инфраструктурным ГНСС-приемником премиум-класса. При стационарной установке приемника, например, в качестве компонента референцной ГНСС-станции, вам может потребоваться проведение монтажных работ. Мы готовы предложить вам установочный комплект, состоящий из наиболее часто востребованных материалов при установке референцной станции.

Геодезические приемники Торсон - это многофункциональные, универсальные приборы предназначенные для решения широкого круга геодезических задач. При выполнении геодезических измерений в основном используются оптическое и оптико-электронное геодезическое оборудование (нивелиры, теодолиты, тахеометры). Данные инструменты работают в видимом спектре, они обладают высокой точностью, но большое влияние на них результат оказывает атмосфера. GPS приемники Торсон способны производить измерения высот и координат на местности с миллиметровой точностью, они работают при температурах от $+60^{\circ}$ до -30° , обладают высокой степенью защиты от грязи и пыли IP66, эргономичные и просты в использовании. Главной отличительной чертой приемников Торсон является опциональность. Эта особенность позволяет приобретать прибор с наименьшим набором функций по наименьшей цене, а в последующем модернизировать его по своему усмотрению.

Компания Торсон является одним из первых производителей, кто смог сделать рабочий геодезический GPS приемник. Одна из самых удачных моделей - это приемник Торсон Нірег, он выполнен по моноблочной схеме, что является эффективным и удобным решением. Не нужно соединять антенну с приемником кабелем, что повышает надежность прибора. Плата приемника размещена в легком, герметичном и ударопрочном корпусе, сделанном из специального алюминиевого сплава, аппарат может выдерживать падения на бетон и асфальт. Внутри корпуса размещаются: антенна, основная плата приемника, аккумуляторы.

Торсон Нірег представляет собой самый многофункциональный приемник, предназначенный для работы в различных областях: строительство, управление сельскохозяйственной техникой, гидрографии, фотограмметрии, картографии, земельном кадастре, мониторинге деформаций, изысканиях, геофизике, дорожном строительстве, прокладке газа/нефтепроводов, межевании, и т.д. Микрополосковая антенна способна

принимать сигналы спутников различных систем GPS и ГЛОНАСС, на частотах L1 и L2. Приемник снабжен двумя Li-Ion аккумуляторами. Для настройки используется программное обеспечение PC-CDU.



Рис. 4. Приемник Topcon HiPer V.

Управление приемником осуществляется через панель minter, это удобная и интуитивная система ввода, которая позволяет быстро и безошибочно вывести необходимые комбинации. На панели имеется три кнопки и шесть последовательных порта. Порт А используется для связи приемника с внешними устройствами, например с контроллером (для связи контроллера с приемником также используется беспроводная связь Bluetooth). Порт В предназначен для связи платы приемника со встроенным модулем Bluetooth. Порт С необходим для связи платы приемника со встроенным УКВ приемопередатчиком. Порт D предназначен для связи с внешними устройствами. Порт USB используется для передачи данных. Порт PWR - это вход под питание, на него подключается внешнее питание (AG-TJ), через него производят зарядку аккумуляторов. Для проведения последующей обработки GPS и ГЛОНАСС данных и, при необходимости, уравнивания их с тахеометрическими измерениями, необходимо иметь специализированное программное обеспечение Topcon Tools. Данное ПО работает в среде Windows, в нем можно производить обработку данных полученных любым приемником Topcon, а также любые файлы, сохраненные в формате Rinx.

В классе ГИС приемники Topcon представлены следующими моделями: GSM-2 и GRS-1. Это удобные, эргономичные приборы, предназначенные для использования в различных сферах, таких как: природопользование, паспортизация автодорог, землепользовании и т.д. Topcon GMS-2 более ранняя модель, он был выпущен в 2006 г. Данные геодезические приборы представляют собой моноблок интегрированными с антенной в защищенном корпусе. Topcon GRS-1 способен принимать сигналы спутников

GPS и ГЛОНАСС на 72 каналах, а также работать в режиме реального времени RTK. В табл. 3 приведены технические характеристики GRS-1.



Рис. 2. Приемник GRS-1 фирмы Торсон.

Таблица 3. Технические характеристики приемника GRS-1 фирмы Торсон.

Одновременно отслеживаемые сигналы спутников, число каналов	72 канала, встроенная антенна
Опционально расширяется до:	72 канала GPS/ГЛОНАСС L1 72 канала GPS L1/L2 72 канала GPS/ГЛОНАСС L1+L2
Точность измерений в плане: статическая съемка	$\pm 3\text{мм} + 0,5\text{мм/км СКО (L1+L2)}$
Точность измерений по высоте: статическая съемка	$\pm 5\text{мм} + 0,5\text{мм/км СКО (L1+L2)}$
Точность измерений в плане: кинематическая съемка	$\pm 10\text{мм} + 1\text{мм/км СКО}$
Точность измерений по высоте: кинематическая съемка	$\pm 15\text{мм} + 1,5\text{мм/км СКО}$
Точность измерений в плане: съемка в RTK	$\pm 10\text{мм} + 1\text{мм/км СКО}$
Точность измерений по высоте: съемка в RTK	$\pm 15\text{мм} + 1,5\text{мм/км СКО}$
Точность измерений в реальном времени: DGPS	Менее чем 0,5м
Точность измерений в постобработке: DGPS	10м
Отслеживаемые сигналы	GPS L1 C/A, P - коды, L2, L2C ГЛОНАСС L1, L2 кодовые и фазовые измерения

	WAAS/EGNOS/MSAS
Время захвата спутников	холодный старт - мене 30 секунд теплый старт - менее 10 секунд по известной точке - менее 1 секунды
Интерфейс и связь	RS-232, USB, порт для подключения внешнего источника питания 6-28В, антенный порт
Внутренняя память	SDRAM 128Mb (слот для SD-карты памяти до 2Gb)
Дисплей	3,7 дюйма, цветной сенсорный
Питание	Съемная Li-Ion батарея BT-66Q, 2500мАч, 7,4В (время непрерывной работы не менее 9 часов, зарядка до 5 часов)
Защита от пыли и влаги	IP66
Вес	0,77кг (без батареи)
Рабочая температура	от - 20С до +50С

Геодезические приемники Sokkia - это современные, надежные и многофункциональные приборы. Приемники Sokkia представлены несколькими инструментами: GPS Sokkia Stratus, GSR1700 CSX, GSR2700 ISX, GRX1, GRX2, GSX2. Поставка геодезических GPS приемников Sokkia в Россию началось в 2003 г. Первые экземпляры были очень простыми - одночастотными и односистемными, последние модели инструментов представляют собой сочетание последних достижений в области геодезического спутникового приборостроения. GPS приемник Sokkia Stratus представляет собой лаконичный вариант спутникового геодезического прибора. В табл. 4 приведены технические характеристики GNSS приемник GRX2.

Таблица 4. Технические характеристики приемник GRX2 Sokkia.

Число каналов	226
Одновременно отслеживает сигналы спутников	- GPS L1/L2 полный код и фаза несущей; - ГЛОНАСС L1/L2 полный код и фаза несущей; - Galileo; - SBAS
Точность измерений при статической съемке	в плане: 3 мм + 0,5 мм/км СКО по высоте: 5 мм + 0,5 мм/км СКО
Точность измерений в режиме реального времени	в плане: 10 мм + 1 мм/км СКО по высоте: 15 мм + 1 мм/км СКО

Кодовый режим DGPS в реальном времени	0,5 м
Встроенные модемы	УКВ, GSM/GPRS
Память	SD/SDHC до 32 Гб
Питание	Одна Li-Ion батарея 7,2 V; 5,2 Ач
Продолжительность работы	7,5 часов от одной батареи при 20°C
Вес приемника	1,1 кг
Защита от влаги и пыли	IP67
Средства связи и передачи данных	RS-232, Bluetooth
Температура эксплуатации	от -40С° до +65С°
Гарантийный срок	1 год

Он настолько прост, что с ним может справиться даже самый не подготовленный специалист. Sokkia Stratus обладает еще несколькими немаловажными свойствами - это компактность и легкость. Прибор способен работать от двух аккумуляторов на протяжении 30 часов, также стоит отметить, что батареи взаимозаменяемые с тахеометрами серии SET. Последующие серии GPS Sokkia собирали в себе все больше и больше различных технических решений, что в конечном итоге привело к созданию приемников серии Sokkia GRX.

Геодезические приемники Leica - это профессиональное оборудование, которое зарекомендовало себя, как эффективное, точное и надежное решение. Производитель постоянно обновляет и дополняет существующее оборудование, внедряя новые технологии. На смену приемникам Leica GX1210, GX1220, GX1230 приходит серия Viva. Серия Viva состоит из нескольких приемников, которые делятся на несколько категорий по сложности задач:

- приемник Leica Viva GS15 - это интегрированное решение, совмещающее в одном корпусе антенну, приемник и модем; функции: Bluetooth 2.0 для соединения с контроллером CS10 или CS15, съемная карта памяти, возможность использования GSM или радиомодема, две батареи, высокая степень защиты IP67, может использоваться и как ровер, и как база, также могут использоваться совместно с тахеометрами TPS1200+ - комплекс SmartStation; поддерживают прием сигналов GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Compass, производят измерения в различных режимах: дифференциальный, статика, кинематика;

- приемник Leica Viva GS10 - это вариант, при котором приемник находится отдельно от антенны, может комплектоваться различными антеннами, также может быть и роверным, и базовым; возможность работать при температуре -40°C и др.

GNSS приемники серии Viva специально разработаны для работы в кинематике. При классической схеме в качестве rover (подвижного приемника) лучше использовать Leica Viva GS15, а в качестве стационарного приемника Leica Viva GS10. Для достижения оптимального удобства и качества при выполнении съемки приемники данной серии необходимо комплектовать: контроллерами Leica CS10 или Leica CS15, картой памяти SD, аккумуляторами Leica GEB212 или Leica GEB211, вехой, штативом, креплением для контроллера на веху.

Для обработки данных полученных приемниками Leica Viva используют программное обеспечение Leica Geo Office (LGO) - это ряд программ, каждая из которых предназначена для обработки данных полученных определенным образом.

Одночастотные GNSS решения представлены приемниками Leica Viva Uno 10 и Uno 15 - это комбинированные приборы, которые состоят из контроллеров Leica CS10 или Leica CS15, приемника-насадки Leica GS05 или Leica gs06, одночастотной антенны Leica AS05. Компактность, простота и надежность делают приемники Leica Uno эффективными для применения в горной промышленности, строительстве, топосъемке, геофизике и т.д.

Геодетические приемники Leica zeno 10 и zeno 15 - это современные решения для создания геоинформационных систем. Они представляют собой одночастотный приемник, состоящий из контроллера Leica CS10 или Leica CS15 и приемника-насадки Leica GS05 GIS или Leica GS06 GIS. Данные приборы рекомендуется применять в следующих областях: земельный кадастр, энергетика, ЖКХ, экология, транспорт и многое другое. Для создания ГИС используется специализированное ПО: Zeno Field, Zeno Office, Mobile Matrix.

Лидирующее положение в производстве спутникового оборудования занимают компании, разрабатывающие мультисистемные спутниковые приемники, использующие при измерениях пространственных координат несколько глобальных навигационных спутниковых систем - GPS, ГЛОНАСС, Galileo и др. Одним из таких мультисистемных приборов является спутниковый приемник ProMark500 компании Magellan Navigation S.A.S. Он создан на базе 20-летнего опыта компании в производстве спутникового оборудования и практического опыта ее партнеров, накопленного при проведении различных видов геодезических, картографических и кадастровых работ. В этом ГНС-приемнике воплощены последние технологические достижения - высокая надежность и

небольшой вес, компактность и максимальная точность. При размерах 228x188x84 мм, его вес составляет менее 1,4 кг, а наличие литиевых аккумуляторов, емкостью 4400 мА/ч, обеспечивает непрерывную работу в режиме кинематики реального времени (RTK) до 6 ч.



Рис. 4. Приемник ProMark3 компании Magellan Navigation.

Кроме того, приемник может работать от внешнего источника питания с напряжением 6–28 В. Корпус приемника имеет класс защиты IPX7 и выдерживает падение на бетонное основание с высоты до 2 м, что по ударопрочности соответствует классу ETS300019. Спутниковый приемник может выполнять измерения координат при температуре окружающей среды от -30°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

В ProMark500 при определении пространственных координат используются сигналы ГНСС - NAVSTAR (GPS) и ГЛОНАСС, а также сигналы SBAS - WAAS, EGNOS и MSAS. Спутниковый приемник поддерживает частоты L1 и L2, гражданский сигнал L2C и новую частоту L5, которая была введена в эксплуатацию при модернизации ГНСС NAVSTAR. Фазовые и кодовые измерения выполняются независимо друг от друга. В дальнейшем возможна модернизация ProMark500 для приема сигналов ГНСС Galileo.

Разработанная, запатентованная и реализованная компанией Magellan в мультиспектральном спутниковом приемнике ProMark500 технология подавления многопутности Blade обеспечивает стабильный сигнал со спутников ГНСС, сокращает время инициализации до 2 с и повышает точность определения координат на больших расстояниях (до 20 км). В дополнение к этому, в приемнике реализована запатентованная компанией Magellan технология совместной обработки сигналов GPS и ГЛОНАСС для высокой надежности измерений в режиме RTK при потере связи. Он может принимать данные с базовых станций различных производителей, использующих сигналы ГНСС на частотах L1/L2 (GPS и ГЛОНАСС).

Приемник имеет 75 параллельных каналов приема сигналов ГНСС, встроенную антенну и беспроводной интерфейс Bluetooth для связи с полевым контроллером. ProMark500 позволяет выполнять картографо-геодезические и кадастровые работы, а также проводить вынос проекта в натуру в режиме RTK. Для передачи поправок используется выделенный канал GSM/GPRS или радио-канал УКВ.

Для управления приемником ProMark500 на его корпусе имеется графический OLED-дисплей и три кнопки. Результаты полевых измерений накапливаются во внутренней памяти спутникового приемника. Ее объем составляет 96 Мбайт, что позволяет выполнять сбор «сырых» данных с частотой записи 10 Гц (10 измерений в секунду) от 18 спутников ГНСС с интервалом 15 с в течение 400 ч. Встроенная память приемника может быть расширена за счет подключения через USB-порт стандартных внешних устройств памяти, например, flash-носителей.

Кроме того, управлять работой приемника можно с помощью полевого контроллера. Например, спутниковый полевой контролер MobileMapper CX или Allegro CX позволяет выполнять предварительную обработку спутниковых измерений и накапливать семантическую и описательную информацию при создании и обновлении ГИС-проектов. В этом случае вес спутникового приемника ProMark500 в стандартной комплектации, включающей контроллер MobileMapper CX с креплением, средства связи и аккумуляторы, не превышает 2 кг.

Контроллер MobileMapper CX имеет программное обеспечение FAST Survey, которое в сочетании с обновленным офисным ПО GNSS Solutions и Magellan RTDS позволяет определять пространственные координаты спутниковым приемником ProMark500 как в режиме реального времени, так и постобработки со следующей точностью:

- статика в режиме постобработки (в плане / по высоте) - 5 мм + 0,5 мм/км / 10 мм + 1 мм/км;
- кинематика в режиме постобработки (в плане / по высоте) - 10 мм + 1 мм/км / 20 мм + 1 мм/км;
- кинематика в режиме RTK (в плане / по высоте) - 10 мм + 1 мм/км / 20 + 1 мм/км;
- SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS) в режиме реального времени (в плане) - <3 м;
- DGPS в режиме реального времени (в плане) - <0,8 м.

Обработка GPS, ГЛОНАСС и SBAS-данных, получаемых спутниковым приемником ProMark 500, выполняется с помощью офисного ПО GNSS Solutions. Оно позволяет обрабатывать «сырые» данные, полученные в процессе измерений в режимах статике и кинематики, с проверкой их качества и подготовкой отчета, экспортировать результаты в

заданный формат. Точные и надежные результаты обеспечиваются, благодаря алгоритму обнаружения и анализа грубых ошибок, используемому в данном ПО. Кроме того, GNSS Solutions позволяет загружать данные сети базовых станций при постобработке для проверки качества сетевого решения. Результаты обработки могут быть представлены в графическом виде или в табличной форме, что делает процесс постобработки простым и удобным.

В контроллере MobileMapper CX используется программное обеспечение FAST Survey, которое обеспечивает одновременное хранение координат отдельных точек, запись «сырых» данных, измеренных спутниковым приемником, и другой информации. Кроме того, оно позволяет использовать контролер для работы с электронными тахеометрами различных типов. ПО FAST Survey является графическим полевым программным обеспечением. Во время топографической съемки на масштабируемой карте (плане) отображаются измеренные точки и линии, что дает возможность вносить изменения непосредственно в поле и получать конечный результат.

Программное обеспечение Magellan RTDS (Real Time Data Server) позволяет создавать на базе ГНСС оборудования сервер для передачи поправок в режиме RTK. RTDS через Интернет передает на подвижный приемник поправки, генерируемые базовой станцией. Эта базовая станция может быть как стационарной (с прямым подключением к серверу), так и мобильной (с подключением к серверу через GPRS). ПО RTDS в сочетании с ProMark500 предоставляет законченное решение для съемки в режиме RTK, благодаря GSM/GPRS/EDGE-модулю, встроенному в приемник.

В таблице 5 представлены технические характеристики и модели приборов и оборудования, рекомендуемые для базовых и рабочих станций.

Таблица 1. Рекомендуемые технические характеристики ГНСС оборудования

Наименование оборудования и приборов	Основные технические характеристики	Модели оборудования и приборов
Оборудование для базовых станций		
Приемники	72 канала для независимого и одновременного отслеживания кода и фазы на частотах L1 и L2 (и др.) сигналов GPS и ГЛОНАСС Вывод данных с частотой от 20 Гц Передача данных в режимах RTK и DGPS	Leica GRX1200 GG Pro Trimble NetR5 и др.

Антенны	Принимаемые сигналы: GPS/ГЛОНАСС Устойчивость фазового центра <1 мм Рабочий диапазон температур: -40° до +50°C 100 % влагозащищенность Вибростойкость Защита от песка, воды, пыли	AT504 GG (Leica) (Choke Ring) Trimble Choke Ring GNSS AX1202 GG (Leica) Trimble Zephyr Geodetic 2 и др.
Оборудование для рабочих станций		
Приемники	72 канала для независимого и одновременного отслеживания кода и фазы на частотах L1 и L2 (и др.) сигналов GPS и ГЛОНАСС Вывод данных с частотой от 20 Гц	Leica GMX902 GG Leica GX 1230GG Trimble R6, R7 GNSS, R8 GNSS и др.
Антенны	Принимаемые сигналы: GPS/ГЛОНАСС Рабочий диапазон температур: -40° до +50°C 100 % влагозащищенность Вибростойкость Защита от песка, воды, пыли	Leica AX 1202 GG Leica ATX1230GG Trimble Zephyr и аналоги

Примерные контрольные тесты.

1. Выделите два функциональных элемента, который входят в аппаратуру для приёма спутниковых сигналов

базовая станция

блока индикации с дисплеем

устройства связи с внешней ЭВМ

стандарт частоты

радиорадар

2. Двухсистемные двухчастотные спутниковые приемники имеют число каналов

Не менее 24

Не менее 18

Не менее 32

Не менее 9

3. Односистемные одночастотные спутниковые приемники имеют число каналов

Не менее 24

Не менее 18

Не менее 32

Не менее 9

4. Приёмники, предназначенные для производства работ по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа, для приёма радиосигналов должны иметь

не менее 6 каналов

не менее 24 каналов

не менее 18 каналов

не менее 9 каналов

5. Есть ли ограничение по числу каналов для приёма радиосигналов для ГНСС приёмников при производстве геодезических работ

Да

нет

Лекция 2.2. Этапы проектирования и организации спутниковых измерений.

Содержание.

1. Оценка текущего состояния группировок ГНСС.
2. Определение местоположения спутников ГНСС.
4. Определение схемы препятствий ГНСС измерений
5. Планирование проведения ГНСС измерений.

Для успешного выполнения спутниковых измерений необходимо проведение комплекса предварительных практических и вычислительных работ с целью определения наиболее оптимального времени проведения высокоточных ГНСС измерений для заданной местности и заданной даты. Для достижения этой цели необходимо последовательно решить ряд задач:

1. Оценить текущее состояние группировок ГНСС (ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Beidou).
2. Определить местоположения спутников ГНСС.
3. Определить приближенные координаты мест будущих ГНСС измерений.
4. Определить схемы препятствий ГНСС измерений.
5. Для заданной даты и времени и оценить параметр «снижения точности» PDOP и на основе этого определить оптимальный интервал времени проведения ГНСС измерений.
6. Предсказать «космическую» погоду на дату планируемых измерений.
7. Изучить и использовать программное обеспечение (ПО) Trimble Planning Software для планирования ГНСС измерений.

1. Оценка текущего состояния группировок ГНСС.

ГНСС – глобальные навигационные спутниковые системы, это комплексные электронно-технические системы, состоящие из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенные для определения местоположения (географических

координат и высоты) и точного времени, а также параметров движения (скорости и направления движения и т. д.) для наземных, водных и воздушных объектов. В настоящее время полностью развернуты и успешно функционируют глобальные навигационные спутниковые системы ГЛОНАСС (РФ) и GPS (США), находятся в стадии развертывания GALILEO (Евросоюз) и BEIDOU (Китай). Информацию о текущем состоянии и предстоящим регламентным работам с ГНСС ГЛОНАСС можно получить на сайте Информационно-аналитического центра ГЛОНАСС (<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>) (рис. 1). Информацию о текущем состоянии и предстоящим регламентным работам с ГНСС GPS можно получить на сайте Навигационно центра Береговой охраны США (U.S. Coast Guard Navigation Center) (<http://www.navcen.uscg.gov>) (рис. 2). На этом сайте можно подписаться на регулярную рассылку бюллетеней о состоянии системы GPS. Информацию о системе GALILEO можно получить на сайте Европейского космического агенста (http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future-Galileo/What_is_Galile). Официальную информацию о группировке BEIDOU (Китай) можно получить на официальном сайте системы (<http://en.beidou.gov.cn/>).

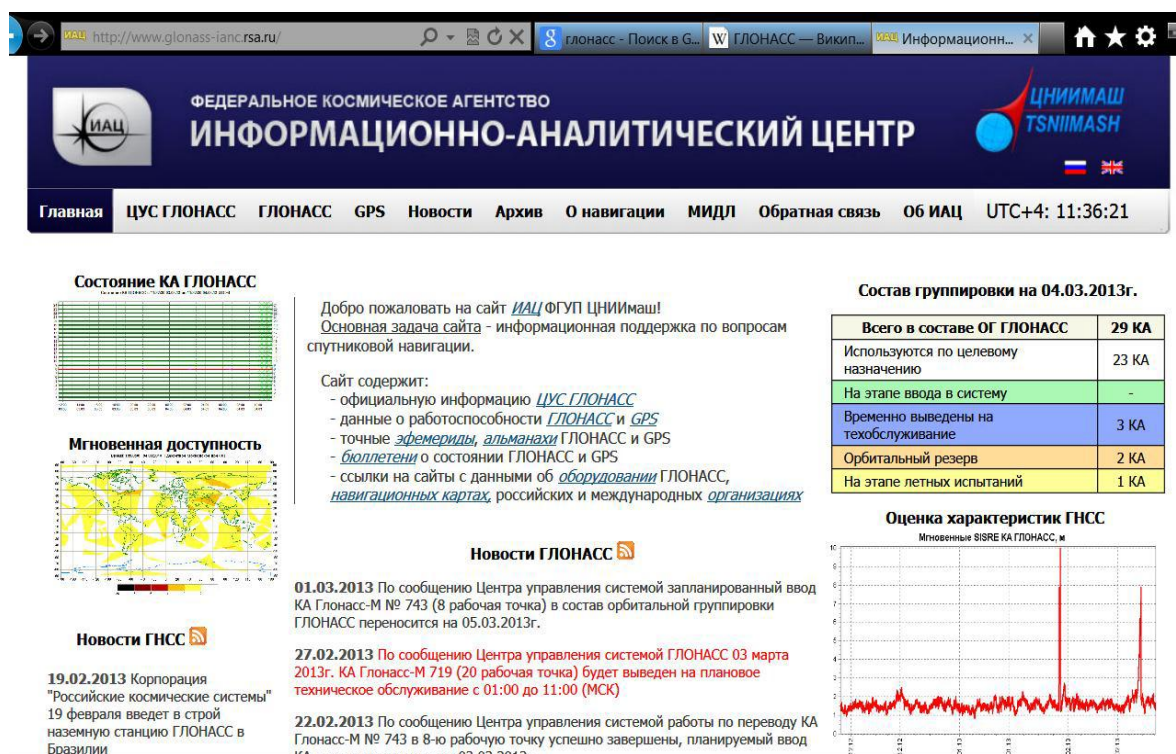


Рис. 1. Базовый сайт по состоянию системы ГЛОНАСС.



Рис. 2. Базовый сайт по состоянию системы GPS.

Кроме того, текущее состояние группировок на текущие сутки можно получить непосредственно из ГНСС приемника кафедры астрономии и космической геодезии К(П)ФУ Trimble NetR9 по адресу <http://192.168.17.47> (<http://178.213.241.8>) (рис. 3).

KZN2
5049K72275

Состояние приемника

Спутники

Запись данных

Настройки приемника

Настройки ввода/вывода

Bluetooth

OmniSTAR

Конфигурация сети

Доступ

Установленное МПО

Программный интерфейс

Справка

Спутники - Общая информация

Отслеживаемые спутники:33

GPS (10): 1, 11, 12, 14, 20, 22, 23, 25, 31, 32

ГЛОНАСС (10): 1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 17, 23, 24

Galileo (2): 11, 19

COMPASS (8): 2, 3, 5, 7, 9, 10, 12, 30

SBAS (3): 120, 126, 128

Всего спутников в созвездии GPS:31

Исправны(31): 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32

Игнорировать исправность(32): 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

Всего спутников в созвездии ГЛОНАСС:24

Исправны(23): 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24

Неисправны(1): 8

Игнорировать исправность(23): 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24

Общее число отслеживаемых спутников в SBAS группировке:3

Исправны(3): 120, 126, 128

Рис. 3. Состояние ГНСС по данным приемника NetR9 К(П)ФУ.

2. Определение местоположения спутников ГНСС

Для определения текущего и будущего местоположения спутников ГНСС на небесной сфере требуется получить альманах с параметрами орбит спутников (альманах в виде текстового файла). Текущий альманах можно скачать с сайта - <ftp://ftp.trimble.com/pub/eph/almanac.alm>. Однако для визуализации данных из альманаха рекомендуется использовать программы планирования спутниковых измерений типа Trimble Planning Software (бесплатная программа-утилита Trimble) (http://www.trimble.com/planningsoftware_ts.asp). Для выполнения практической работы можно скачать альманах из ГНСС приемника кафедры астрономии и космической геодезии К(П)ФУ Trimble NetR9 (адрес выше) в разделе **Спутники – Альманах спутников**. В разделе **Отслеж. (небосвод)** можно получить изображение расположения на текущий момент ГНСС спутников на небесном горизонте (рис. 4). В других разделах меню можно получить информацию о пути спутников в проекции на земную поверхность, время восхода и захода спутников и другую полезную информацию.



Рис. 4. Расположение спутников на небесной сфере по данным приемника NetR9 К(П)ФУ.

3. Определение приближенных координат места будущих ГНСС измерений.

Для планирования ГНСС измерений требуется знать приближенные (с точностью до 10-15') координаты места, где будут проводится ГНСС измерения. Географические координаты с такой точностью можно получить по мелкомасштабным атласам и картам, либо с помощью программы Google Earth (<http://www.google.com/earth/index.html>). Отыскав на электронной карте нужно место, можно считать требуемые значения географических координат (широта и долгота) (рис. 5).

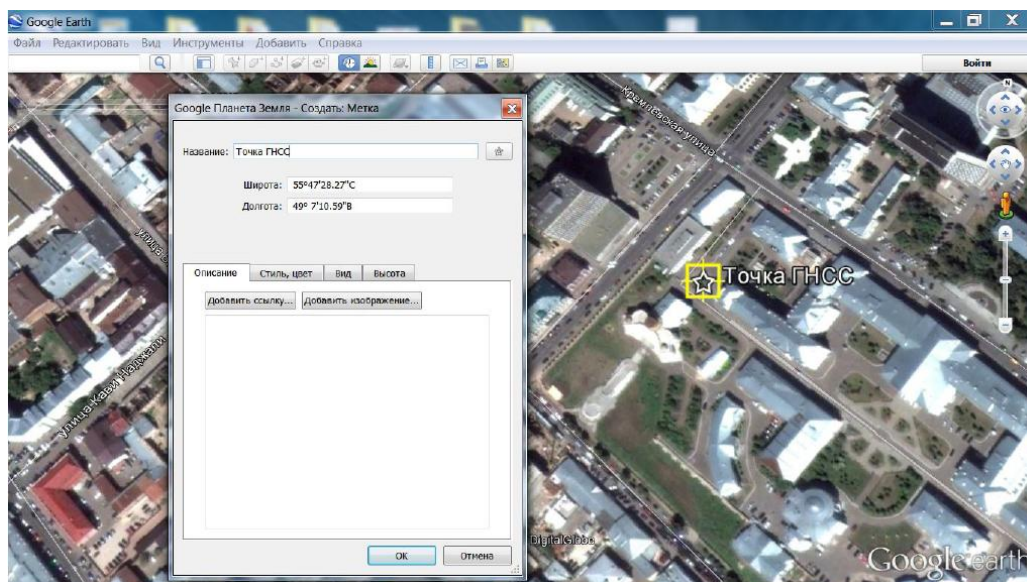


Рис. 5. Определение географических координат места с помощью Google Earth.

Кроме того, практически все современные коммуникаторы имеют встроенные функции GPS позиционирования, позволяющие определить координаты точки в натуре с точностью 5-10 метров (0.2 – 0.3 секунды дуги). При планировании сеансов совместных наблюдений на двух пунктах, требуется определить приближенные координаты обоих пунктов. Помимо плановых координат требуется знать приближенное значение высоты точки, которое также можно получить с карты.

4. Определение схемы препятствий ГНСС измерений

Препятствия для распространения сигналов ГНСС систем можно определить с помощью простого правила – там, где проходит дневной свет, там пройдет и сигнал ГНСС. Таким образом, здания, рельеф земной поверхности являются препятствиями для сигналов ГНСС, а деревья, источники радиосигналов могут частично блокировать сигналы ГНСС (рис. 6).



Рис. 6. Препятствия для распространения сигналов ГНСС

После выбора места, где планируется проводить ГНСС измерения, используя теодолит с буссолью, либо полевой компас, планшет, визирная линейка и эклиметр требуется определить магнитный азимуты и вертикальные углы основных точек препятствий. Во-первых, нужно по буссоли сориентировать теодолит (планшет) по направлению северного магнитного полюса, и установить нулевое значение отсчета по лимбу горизонтального круга. Затем по часовой стрелке наводимся на все основные характерные точки препятствий и, отсчитываем значения по горизонтальному и вертикальному кругу теодолита. При использовании планшета и визирной линейки, направления на характерные точки препятствий прочерчиваются на планшете, а затем горизонтальные углы измеряются транспортиром от исходного нулевого направления на северный магнитный полюс. Как правило, отмечаются препятствия над горизонтом выше пяти градусов. Построение схемы препятствий можно выполнить с помощью ПО Trimble Planning Software желательно оформить кроки с нумерацией и расположением основных точек препятствий. Для этих целей удобно использовать снимки высокого разрешения Google (рис. 7) и панорамные снимки со смартфонов (рис. 8).



Рис. 7. Схема препятствия для распространения сигналов ГНСС по снимкам Google.



Рис. 8. Использование панорамного снимка для построения схемы препятствия.

Для вычисления значения истинного азимута требуется ввести коррекция на величину склонения магнитной стрелки.

5. Выбор даты, времени и оценка параметра «снижения точности» PDOP и определение оптимального времени проведения ГНСС измерений.

Поскольку период обращения ГНСС спутников вокруг Земли составляет около 12 часов, их расположение на небесной сфере непрерывно меняется. Поэтому для проведения аккуратного планирования требуется указать точную дату и время, когда планируется проводить ГНСС измерения. Полученные при этом результаты будут актуальны в течение нескольких дней (до одной недели), а затем требуется обновить альманах и выполнить операцию планирования заново.

Основным параметром для оценки наилучшего времени для проведения ГНСС измерений является параметр PDOP (параметр «снижения точности» - Position Dilution Of Precision). Фактор (параметр) снижения точности:

- DOP - геометрический фактор качества обратной пространственной засечки (рис. 9),
- DOP зависит от взаимного расположения спутников и приемника (рис. 10),
- DOP - это увеличительный фактор, который преобразует шум спутниковых измерений в шум конечного решения,
- чем ниже DOP, тем более точное решение (координаты),
- чем выше DOP, тем менее точные координаты,
- в геодезии чаще всего используют PDOP и RDOP,
- PDOP = позиционное снижение точности - показатель мгновенной геометрии НИСЗ,
- RDOP = относительное снижение точности - показатель изменения в геометрии НИСЗ за период наблюдений.

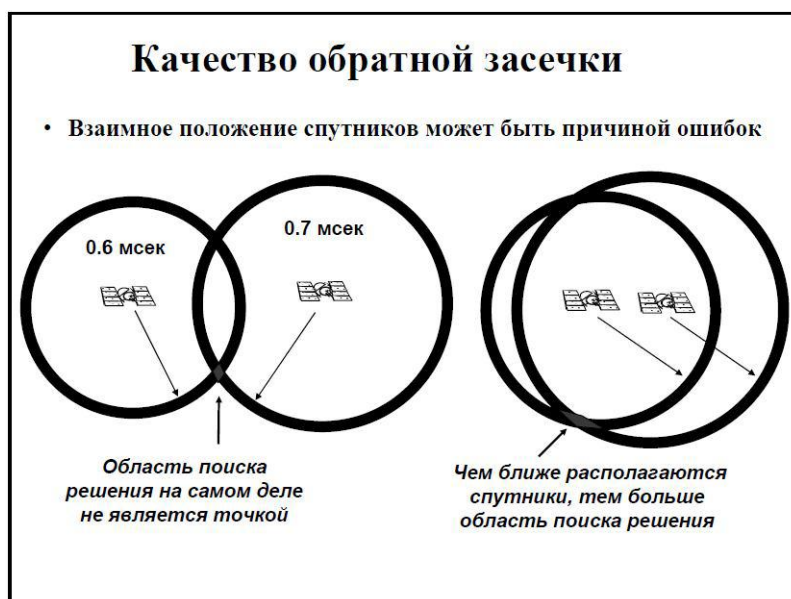


Рис. 9. Расположение спутников влияет на качество обратной засечки.

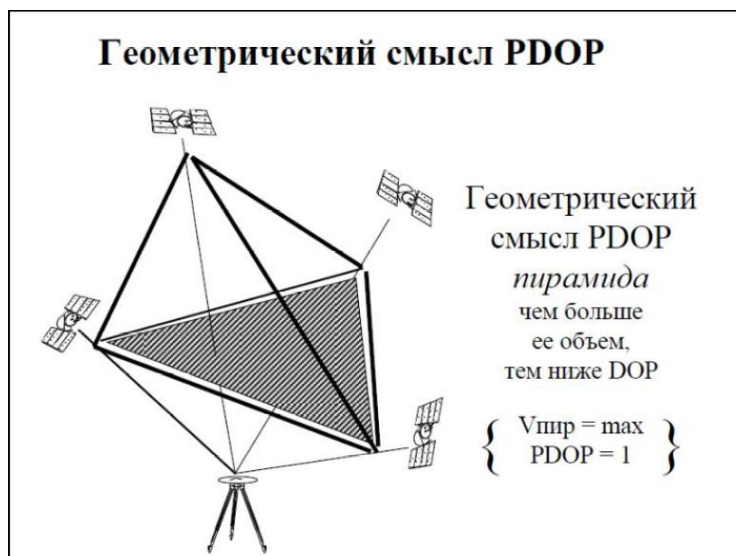


Рис. 10. Геометрический смысл параметра PDOP.

Для определения наилучшего и наихудшего времени для проведения ГНСС измерений можно использовать следующие простые критерии, зависящие от величины параметра PDOP (рис. 11):

- $1 < PDOP < 3$ - отличная геометрия
- $3 < PDOP < 5$ - хорошая геометрия
- $5 < PDOP < 7$ - удовлетворительная геометрия
- $7 < PDOP < 12$ - плохая геометрия
- $12 < PDOP$ - очень плохая геометрия

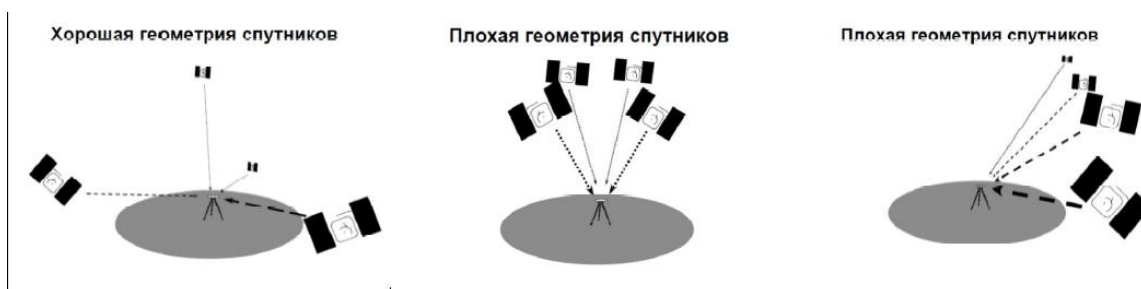


Рис. 11. Примеры «хорошей» и «плохой» геометрии расположения спутников.

Значение параметра PDOP обычно сильно зависит от количества наблюдаемых спутников и при большом их числе, как правило, PDOP мал и это время оптимально для проведения ГНСС измерений (рис. 12).

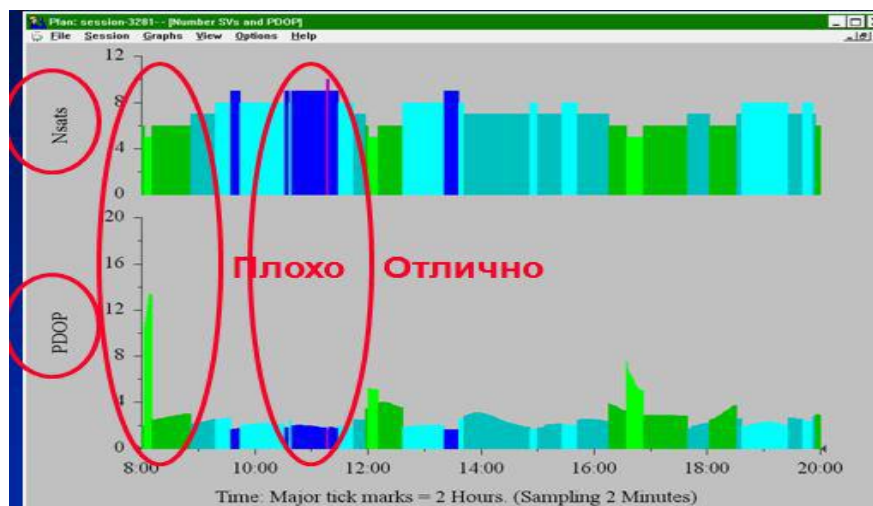


Рис. 12. Графики числа спутников и значения параметра PDOP.

Важным параметром, влияющим на геометрию учитываемых при планировании спутников, является параметр «Угол отсечки» (Elevation Cutoff) (рис. 13). Наблюдение ГНСС спутников на низких углах отсечки может существенно улучшить геометрию созвездия, однако сигналы от спутников на низких углах возвышения существенно деградируют при прохождении протяженных слоев ионосферы и тропосферы, поэтому их анализ и обработка зачастую бывают затруднительны.

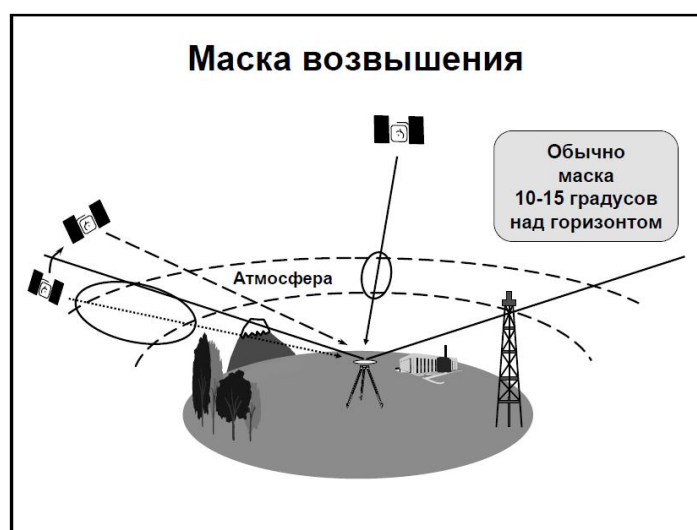


Рис. 13. Влияние угла отсечки (маски возвышения) на геометрию созвездия.

6. Предсказание «космической» погоды на дату планируемых измерений

Другим важным фактором, влияющим на качество ГНСС измерений, является оценка параметров «космической погоды». Обычно качество измерений ухудшается с увеличением в ионосфере параметра полной концентрации свободных электронов (ТЕС – Total Electron Content). Параметр ТЕС имеет ярко выраженную суточную и 11-летнюю периодичности. Если первая связана с суточным вращением Земли вокруг оси и

соответственно с количеством попадающих на Землю ультрафиолетовых лучей, то 11-летний цикл зависит от числа пятен на Солнце. В периоды максимума солнечной активности число пятен может существенно возрасти. Ситуация на ближайший 24-цикл солнечной активности представлена на рис. 14.

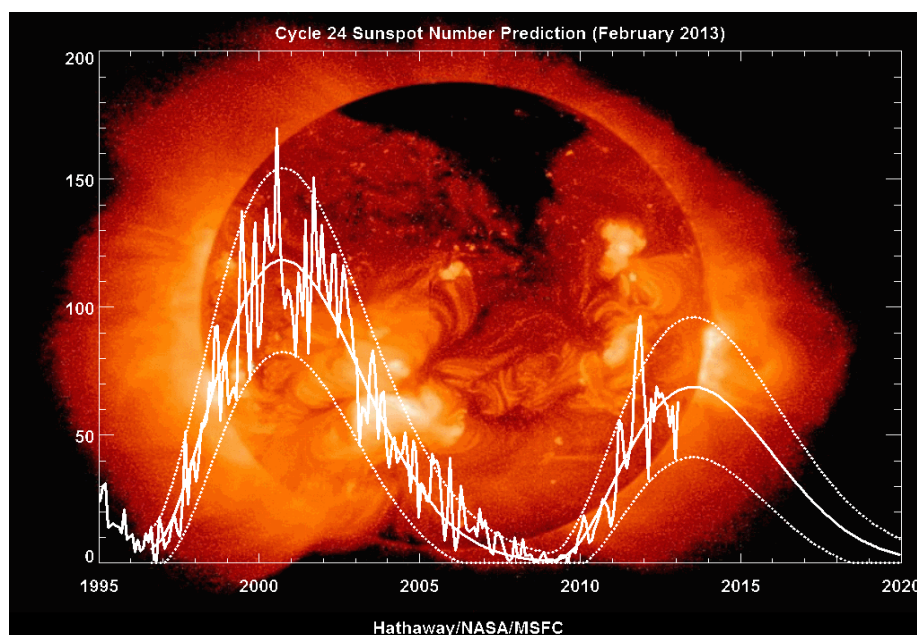


Рис. 14 График числа пятен на Солнце и их предсказание на 24-цикл.

Для предсказания активности в ионосфере обычно используется анализ К-индекса, значения которого можно получить на сайте <http://www.swpc.noaa.gov> Национальной погодной службы США (рис. 15). Кроме того можно использовать он-лайн сервис фирмы Trimble расположенный по адресу: <http://www.trimble.com/GNSSPlanningOnline/> (рис. 16 и 17). Рекомендуется выполнять высокоточные геодезические ГНСС измерения в периоды с низкими значениями К-индекса. Если же возможности выбора времени измерения нет, то следует увеличить сеансы ГНСС измерений в периоды больших значений К-индекса.

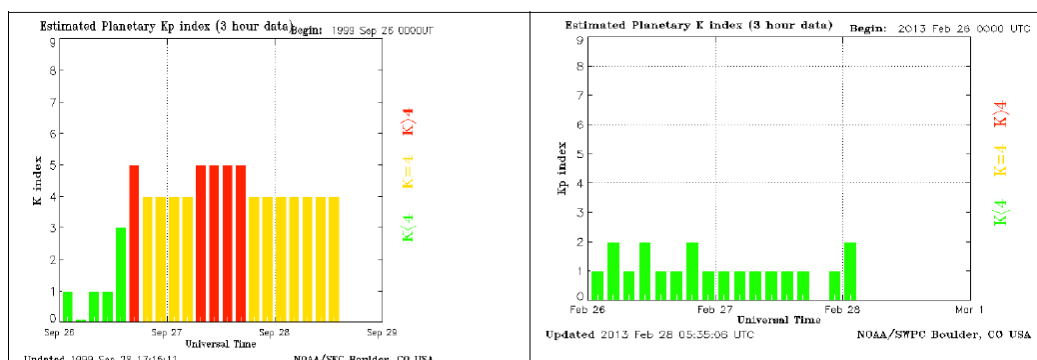


Рис. 15. Графики К-индекса соответствующие высокой и низкой активности в ионосфере.

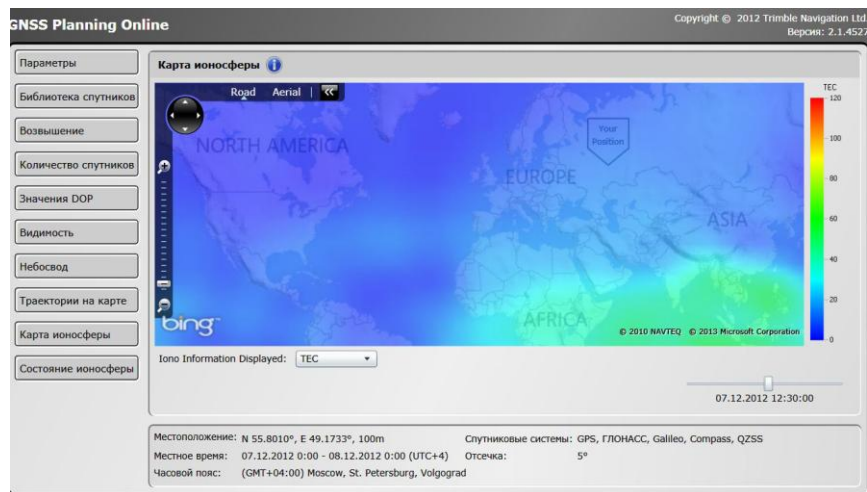


Рис. 16. Карта ионосферной активности.

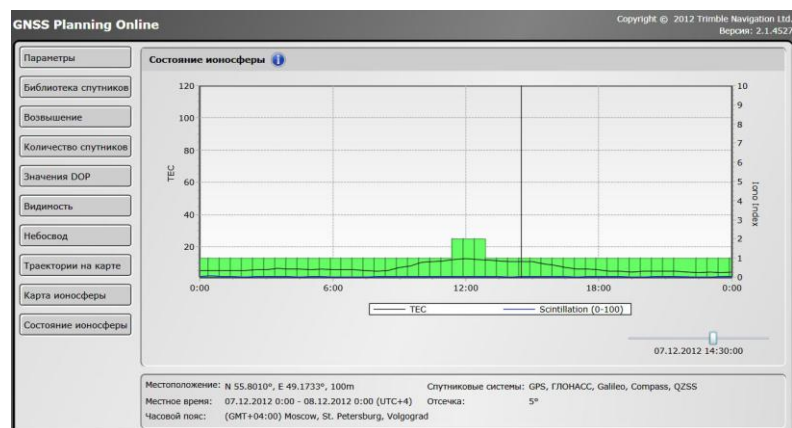
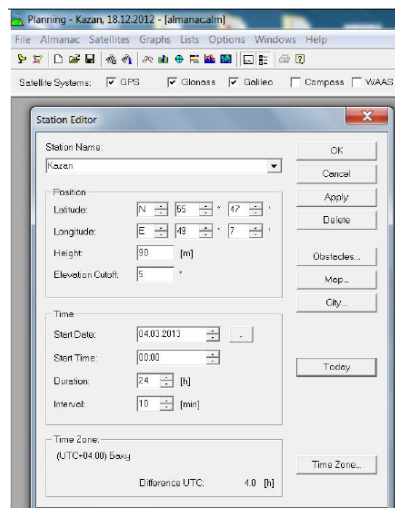


Рис. 17. Значения параметра TEC.

7. Использование ПО Trimble Planning Software для планирования ГНСС измерений

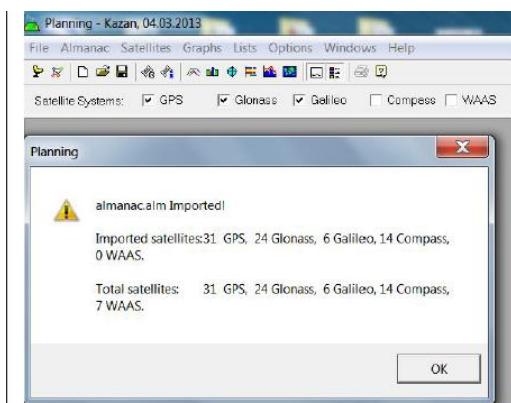
Приведем пошаговую инструкцию по использованию ПО Trimble Planning Software для определения наиболее оптимального времени для проведения высокоточных ГНСС измерений.

7.1. Создание проекта и задание исходных данных



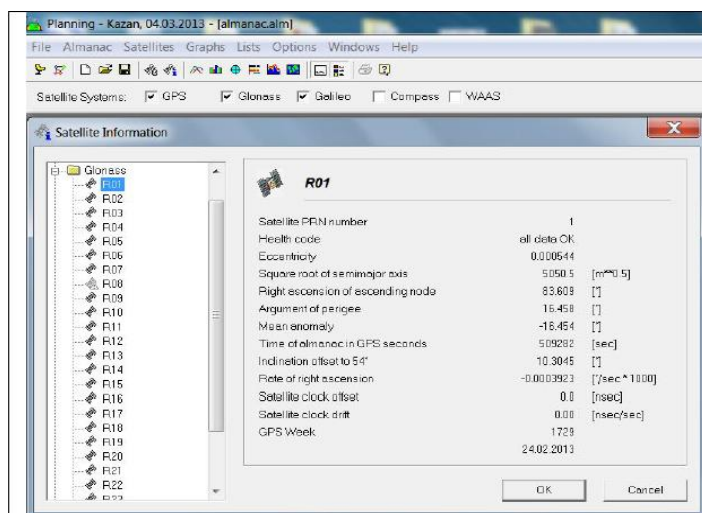
Необходимо задать приближенные координаты точки (см. разд. 3)
Необходимо задать угол отсечки (Elevation Cutoff)
Необходимо задать дату и интервал времени для планирования (нужно убедиться что правильно выбран часовой пояс)
В разделе препятствия (Obstacles) можно будет задать схему полученных по полевым измерениям.

7.2. Импорт альманаха



Необходимо скачать из интернет или из недавно работавшего ГНСС приемника «свежий» альманах (не старше 30 дней). Программа отображает вид и количество используемых в импортируемом альманахе ГНСС спутников

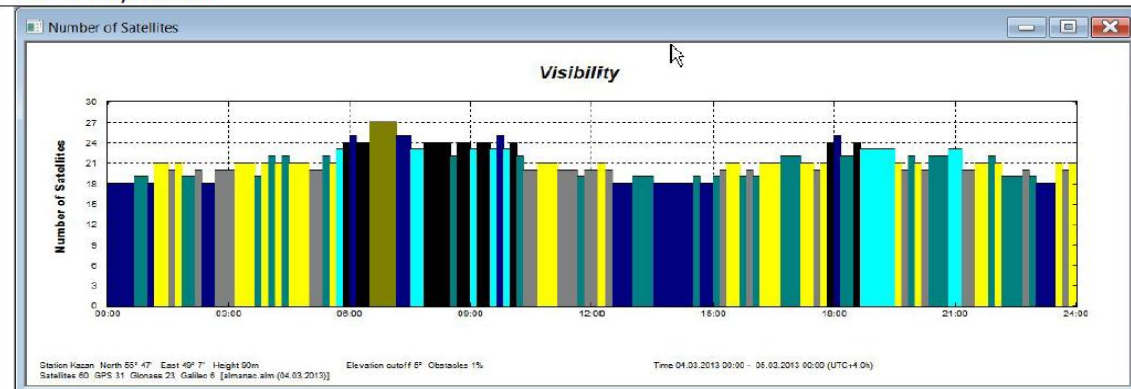
7.3. Информация о спутниках.



В разделе Спутники (Satellites) можно получить подробную информацию об элементах орбиты всех доступных ГНСС спутников и отключить некоторые из них индивидуально если известно об их плановых отключениях на дату планируемых измерений

7.4. Основные графики программы Trimble Planning Software

Число спутников



Возвышения спутников

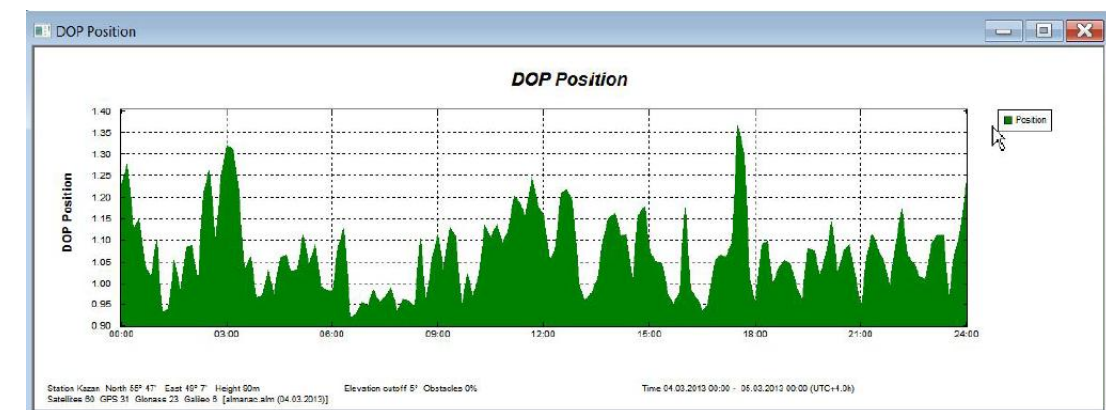
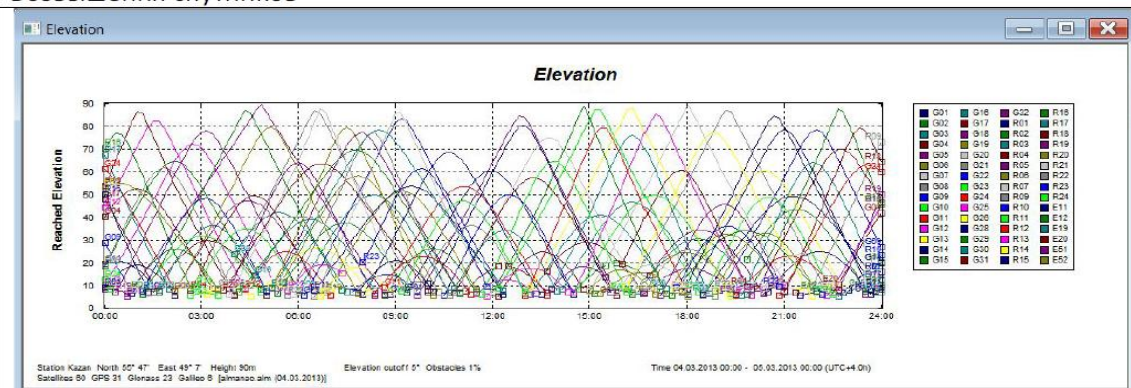
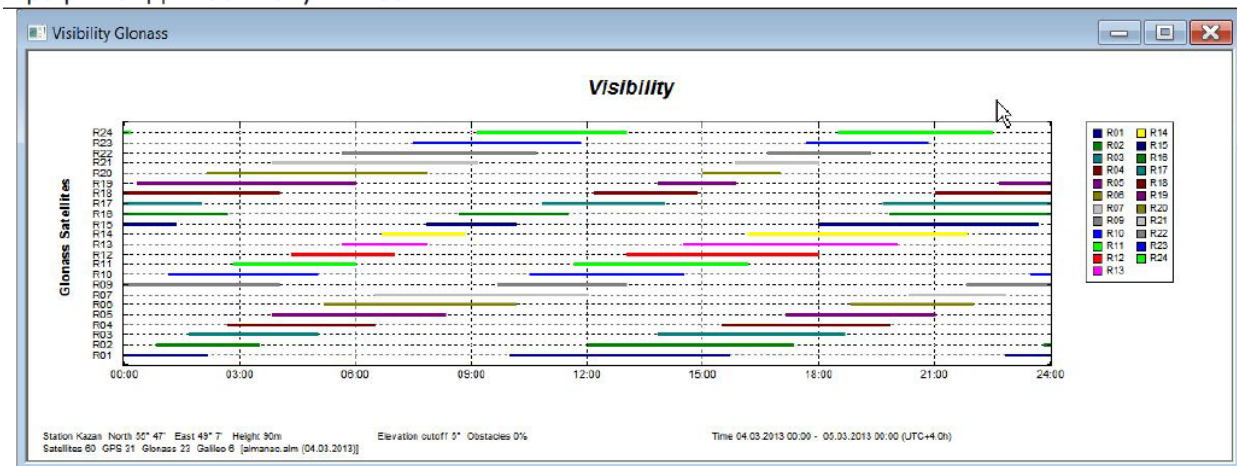
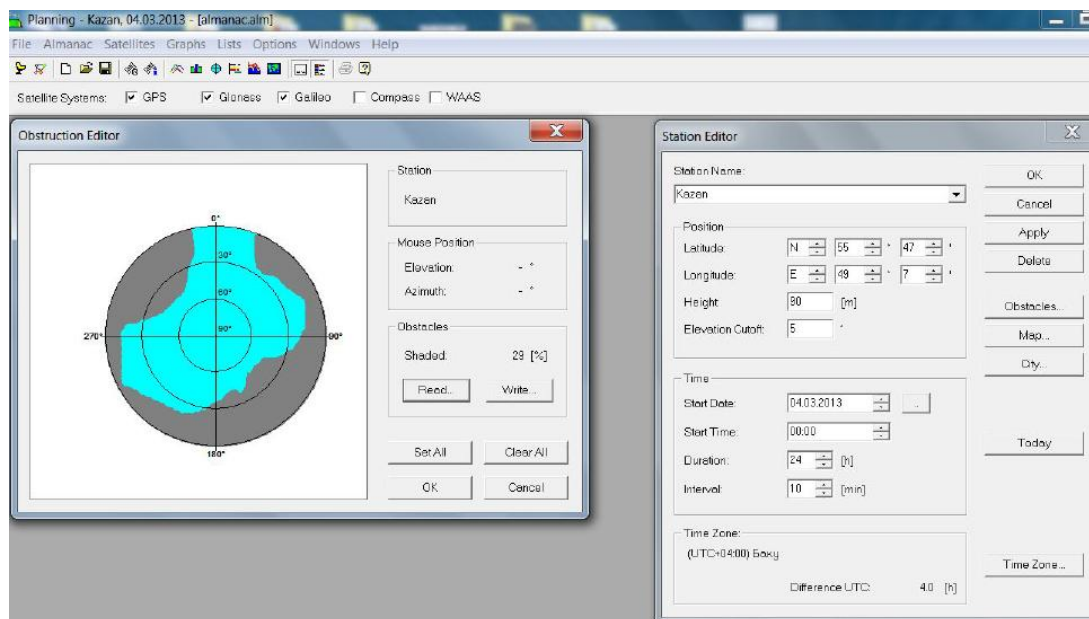


График видимости спутников

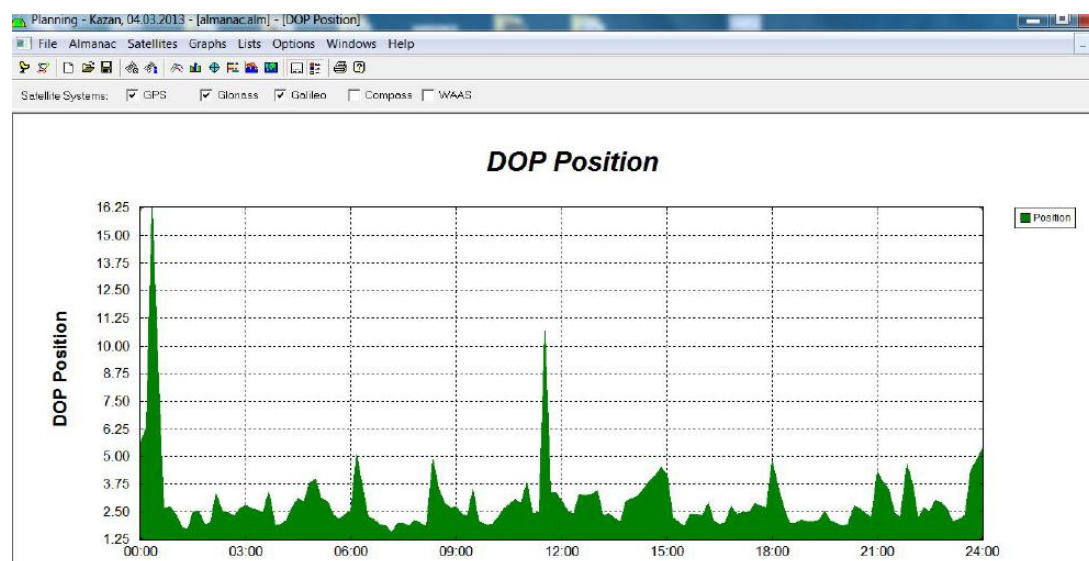


7.5. Построение схемы препятствий графическим способом (курсор мыши)



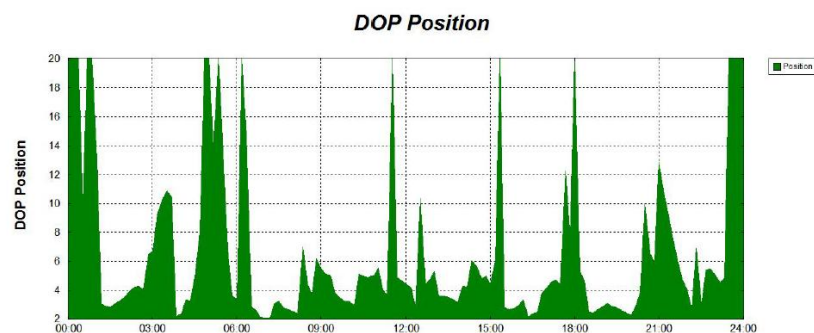
После построения схемы препятствий необходимо сохранить ее в файл формата TXT.

7.6. График PDOP с учетом препятствий

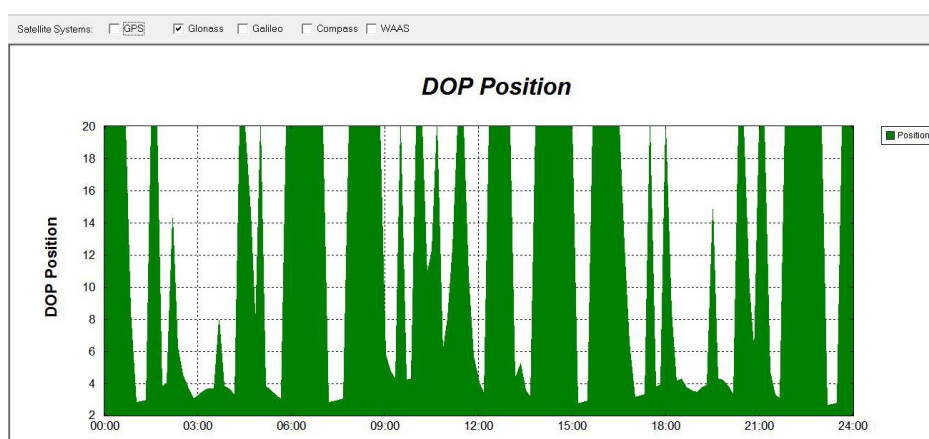


Видно, что значения PDOP иногда превышают допустимые значения и можно определить интервалы времени, когда проведение ГНСС измерений не рекомендуется. Данные о табличных численных значениях PDOP и других параметрах можно вывести в табличной форме через раздел СПИСКИ (Lists).

7.7. Планирование ГНСС измерений для отдельных спутниковых созвездий (только GPS с препятствиями)



7.8. Планирование ГНСС измерений для отдельных спутниковых созвездий (только ГЛОНАСС с препятствиями).



Таким образом, планирование ГНСС измерений позволяет определить, какие препятствия могут оказать существенное влияние на качество геодезических измерений и определение координат спутниковыми методами; оценить преимущество использования совмещенных ГНСС систем (ГЛОНАСС + GPS, ГЛОНАСС + GPS + GALILEO) с точки зрения существенного увеличения доступных для измерений окон даже в случае большого количества препятствий, например, при работе в условиях плотной городской застройки, в лесной местности или глубоких каньонах или карьерах.

Примерные контрольные тесты.

1. Информацию о текущем состоянии и предстоящим регламентным работам с ГНСС ГЛОНАСС можно получить на сайте
Информационно-космический альманах ГЛОНАСС
Информационно-аналитического центра ГЛОНАСС
Информационное спутниковое агентство ГЛОНАСС
2. Спутниковая группировка BEIDOU – это страна
Китай
Индия
Япония
Ирак
3. Для планирования ГНСС измерений достаточно знать координаты местности с точностью
До 1 – 5'

До 10 – 15'
До 20 – 40'

4. Для планирования ГНСС измерений для точек препятствий требуется определить
азимуты и вертикальные углы
координаты и вертикальные углы
азимуты и координаты
высоты и координаты
5. При планировании ГНСС измерений даты и интервалы времени, оптимальные для их проведения, будут актуальны в течение
Одной недели
Двух недель
Трех недель
Четырех недель
6. DOP – это
фактор срыва сеансов
геометрический фактор качества
фактор многолучевости прохождения сигнала

Лекция 2.3. Режимы статике и кинематики, обработка спутниковых измерений

Содержание.

1. Абсолютные определения.
2. Методы относительных определений.
3. Статический режим «static» определения местоположения потребителя ГНСС.
4. Режим быстрой статике «rapid static» определения местоположения потребителя ГНСС.
5. Режим реоккупации «psevdo-static, broken-static, re-occupation» определения местоположения потребителя ГНСС.
6. Кинематический режим «kinematics positioning survey» определения местоположения потребителя ГНСС.

Для рассмотрения темы вспомним основные базовые понятия, рассмотренные в предыдущих темах:

- наблюдение навигационного спутника (НС) - процесс приема и обработки измерительной информации от НС;
- навигационное спутниковое измерение – это процесс приема и обработки в навигационной аппаратуре потребителя ГНСС радионавигационного сигнала, излучаемого с борта навигационного космического аппарата ГНСС;
- спутниковые (геодезические) определения - определение координат пунктов или приращений координат между пунктами, основанное на обработке измерительной

информации, поступающей со спутников ГНСС;

- определение координат пункта спутниковой геодезической сети по навигационным спутниковым измерениям – это определение местоположения пункта спутниковой геодезической сети на основе математической обработки навигационных спутниковых измерений, полученных с помощью геодезической навигационной аппаратуры потребителя ГНСС;

- опорный пункт (при спутниковых определениях) - пункт, как правило, с известными координатами, на котором ведутся непрерывные спутниковые определения во время выполнения конкретного проекта;

- подвижный (спутниковый) приемник - приёмник, перемещаемый между пунктами наблюдений;

- псевдодальность (в спутниковых определениях) - расстояние между спутником и приемником, вычисленное по времени распространения сигнала без поправки за расхождение часов спутника и приемника;

- кодовые измерения (в спутниковых определениях) - измерение псевдодальности между спутником и приемником путем обработки псевдослучайного кода;

- фазовые измерения (в спутниковых определениях) - измерение разности фаз сигналов, приходящего (со спутника) и опорного (в приемнике) несущей частоты с неопределенным начальным значением целого числа циклов [волн];

- разрешение неоднозначности (при измерении псевдодальности) - процесс нахождения целого числа циклов [волн], укладывающихся в расстоянии между спутником и приемником, при обработке фазовых измерений;

- проект (спутниковых определений) - процедура установления и ввода в приемник сведений о пунктах местности, подлежащих спутниковым определениям;

- благоприятный временной интервал (спутниковых) определений - период времени, когда можно одновременно наблюдать необходимое число (не менее 4-х) спутников с предрасчитанным значением DOP;

- сеанс спутниковых наблюдений (сессия) - непрерывная регистрация сигналов НС приемниками в течение времени необходимого для решения поставленной задачи;

- абсолютный метод определения координат пункта спутниковой геодезической сети по навигационным спутниковым измерениям – это определение местоположения пункта спутниковой геодезической сети в геоцентрической пространственной системе координат;

- относительный метод определения координат пункта спутниковой геодезической сети по навигационным спутниковым измерениям – это определение местоположения пункта спутниковой геодезической сети относительно опорного пункта;

- дифференциальные поправки (к измеренным значениям псевдодальности) - поправки, определенные как разность между измеренными значениями псевдодальности по кодам и/или фазовым измерениям и значениям расстояний между приемником и спутниками, вычисленным по известным значениям координат пункта и бортовым эфемеридам спутника;

- базовая (геодезическая) станция - приемник, установленный на пункте с известными координатами и передающий дифференциальные поправки с помощью дополнительного радиоканала на подвижные (перемещаемые) приемники;

- абсолютные определения координат - получение координат в общеземной геоцентрической системе или отнесенных к земному эллипсоиду, как правило, по кодовым измерениям псевдодальностей до спутников с точностью не выше первых метров;

- относительные (спутниковые) измерения определение разности координат между пунктами в сеансе (как кодовых, так и фазовых) измерений;

- дифференциальные измерения (в спутниковых определениях) - измерения, основанные на введении дифференциальных поправок, определяемых базовой станцией, в результаты измерений, выполненных на перемещаемых приемниках;

- дифференциальные измерения в реальном масштабе времени - дифференциальные измерения, при которых результаты измерений (координаты, расстояния) на перемещаемых приемниках получаются непосредственно в поле по переданным дифференциальным поправкам с базовой станции.

Абсолютные определения выполняются по принципу пространственной обратной линейной засечки, образованной измеренными псевдодальностями до 4-х и более спутников с одной точки, на которой размещён спутниковый приёмник. Точность абсолютных определений местоположения ограничена рядом факторов, среди которых основным является влияние погрешностей эфемерид спутников. Стандартная точность определения местоположения абсолютным методом не превышает 5 м, что не позволяет использовать этот метод при развитии съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа, поэтому в геодезических измерениях абсолютные определения не применяются.

Методы относительных определений основаны на принципе компенсации сильно коррелированных погрешностей, к которым относятся и эфемеридные погрешности, при одновременном определении кодовых и фазовых псевдодальностей до спутников одного и того же созвездия с двух точек. Для реализации относительных спутниковых определений используют два или более приёмников, один из которых является базовой станцией, а

другие – подвижными. Наблюдения спутников базовой и подвижными станциями осуществляют приёмами, объединёнными в сеансы.

Различают следующие две категории относительных спутниковых определений:

- 1) измерения в режиме «post processing» (статический режим), при котором камеральная обработка измерений (постобработка) проводится отдельно от измерений;
- 2) измерение в реальном масштабе времени (кинематический режим), при реализации которого координаты и расстояния получаются непосредственно при измерениях.

Статический режим «static» определения местоположения потребителя ГНСС – это режим определения местоположения потребителя ГНСС, при котором положение потребителя ГНСС не меняется во времени и пространстве. Данный метод используется для выполнения дифференциальных или относительных спутниковых наблюдений и позволяет получить координаты потребителя с наиболее высокой точностью (создание опорной геодезической сети (ОГС), ведение неоперативного мониторинга инженерных сооружений и геологических объектов и др.). Разрешение фазовой неоднозначности выполняется геометрическим методом - неизвестные значения фаз вычисляются как дополнительные неизвестные. Для реализации данного метода необходимо не менее, чем два неподвижных приемника и продолжительное время наблюдений не менее 1 часа. Так для определения координат пунктов на базовых линиях, соединяющих смежные пункты спутниковых наблюдений протяженностью от 10 км до 100 км, продолжительность наблюдений составляет 2 - 6 часов (при продолжительности наблюдений свыше 6 часов заметного улучшения точности не ожидается). При этом определяется вектор базовой линии – трехмерный вектор приращений пространственных координат пунктов. Под независимыми базовыми линиями в спутниковых определениях понимают базовые линии, измерение которых выполнено в разные сеансы.

Метод может быть использован для измерений длинных линий (обычно 20 км и более). Один приёмник устанавливают на точке, координаты которой точно известны. Он называется референц – станцией. Другой приёмник, расположенный на другом конце базовой линии, называется ровером. Данные записываются обоими приёмниками одновременно. Важно выполнять запись данных каждым приёмником с одной и той же частотой (интервалом в записи данных). Обычно это 15, 30 или 60 секунд. Приёмники выполняют запись данных в течение некоторого отрезка времени. Этот период зависит от длины линии, числа наблюдаемых спутников и спутниковой геометрии. За правило считается, что статика должна выполняться в течение минимум 1 часа на линиях 20 км с пятью спутниками и преобладающим значением GDOP 8. После достаточного накопления

данных приёмники можно выключить. Затем ровер может перемещаться на следующую определяемую точку для измерения следующей базовой линии.

Очень важно выполнить избыточные измерения в сети. Например, выполнить измерения на точках, по крайней мере, дважды или выполнить измерения дополнительных векторов, чтобы избежать проблем, которые иначе не были бы обнаружены. Увеличить производительность можно добавив ещё несколько роверов. Для увеличения эффективности при наличии трёх приёмников необходима хорошая координация между членами полевой бригады.

К статическому методу относятся также режимы быстрой статики и реокупации. *Режим быстрой статики* «rapid static» определения местоположения потребителя ГНСС – это статический режим определения местоположения потребителя ГНСС, при котором время приема радионавигационного сигнала ГНСС находится в пределах 20 мин. Метод «rapid static» используется обычно для сгущения ОГ, а также для измерения коротких линий. Для реализации данного метода требуются двухчастотные приемники с возможностью измерений по P-коду. Фазовая неоднозначность разрешается методом перебора вариантов и составлением комбинаций кодовых и фазовых измерений. В режиме быстрой статики при благоприятных условиях и некотором снижении требований точности время сеанса выбирается от 5 до 20 минут (табл. 1).

Таблица 1. Продолжительность наблюдений на точке при применении режима быстрой статики.

Число наблюдаемых спутников	Продолжительность наблюдений, мин.
4	≥ 20
5	10 – 20
6 и более	5 - 10

При измерениях быстрой статикой выбирается база, относительно которой работает один или более роверов. База обычно устанавливается на исходном пункте, координаты которого известны. Затем ровер, перемещаясь, посещает каждый из известных пунктов. Период измерений на каждой из точек зависит от длины базовой линии до базы и GDOP. Данные записываются, а затем обрабатываются в офисе. С целью выявления грубых ошибок должны быть выполнены контрольные измерения, например, повторные наблюдения на точках и в другое время суток. При работе с двумя или более роверами, необходимо чтобы они работали одновременно. Это позволит в течение обработки использовать каждый приёмник на выбор либо как базу, либо как ровер, что является наиболее эффективным способом измерений, но возникают трудности в синхронизации

действий операторов приёмников. Другой способ получения избыточных измерений – это установка двух базовых станций и использование одного ровера для измерения на точках.

Режим реокупации «pseud-static, broken-static, re-occupation» определения местоположения потребителя ГНСС – это статический режим определения местоположения потребителя ГНСС, при котором допускается выполнять повторно навигационные спутниковые измерения на пункте спутниковой геодезической сети не менее чем через один час и по другим навигационным космическим аппаратам ГНСС. При реализации данного метода наблюдения на точке выполняют в течение 5-10 минут, а затем делают перерыв в течение 1 часа. При неблагоприятных условиях допускается выполнять наблюдения 3-х спутников (или более, но с недопустимым значением DOP) с неизменным условием повторной установки приемника на этом же пункте не менее, чем через 1 час и наблюдением уже других спутников. Разрыв в наблюдении рассматривается как явление продолжительного срыва цикла «cycle-slip» - нарушение непрерывности измерения фазы, обусловленное временной потерей захвата сигнала контуром слежения за несущей частотой. В таблице 2 область применимости статических методов ГНСС измерений в зависимости от масштаба съемки и высоты сечения рельефа.

Таблица 2. Геодезические построения с использованием спутниковой технологии

Масштаб, высота сечения рельефа	Метод развития съёмочного обоснования с использованием спутниковой технологии	Метод спутниковых определений	Метод развития съёмочного обоснования с использованием спутниковой технологии	Метод спутниковых определений
1:10 000, 1:5 000; 1 м	определение висячих пунктов	быстрый статический или реокупация	построение сети	быстрый статический или реокупация
1:2 000, 1:1 000, 1:500; 1 м и более	построение сети	быстрый статический или реокупация	построение сети	быстрый статический или реокупация
1:5000; 0,5 м	определение висячих пунктов	быстрый статический или реокупация	построение сети	статический
1:2 000, 1:1 000, 1:500; 0,5 м	построение сети	быстрый статический или реокупация	построение сети	статический

Кинематический режим «kinematics positioning survey» определения местоположения потребителя ГНСС – это режим определения местоположения потребителя ГНСС, при котором положение потребителя ГНСС меняется во времени и пространстве. Кинематический режим предполагает такой порядок выполнения дифференциальных или относительных спутниковых наблюдений, который устанавливается в миссии при использовании одного неподвижного и не менее, чем одного непрерывно движущегося приемника. Кинематическая методика обычно используется для топографической съёмки, регистрации траекторий движения транспортных средств и т. д.

Миссия (при спутниковых определениях) представляет собой процедуру установки в приемнике параметров условий наблюдений спутников и режимов выполнения работы. К таким основным параметрам условий наблюдений спутников относятся:

инициализация (спутникового приемника) - процедура измерений для предварительного разрешения неоднозначности перед началом спутниковых определений в кинематическом режиме;

интервал регистрации (спутниковых измерений) - один из параметров условий наблюдений спутника, характеризующий период времени, через который происходит регистрация эпох наблюдений;

маска (угла отсечки спутника) - один из параметров условий наблюдений спутника, характеризующий минимальный угол места спутников, входящих в данную программу измерений, ниже которого спутники не наблюдаются.

Используется перемещающийся ровер, чьи координаты могут быть вычислены относительно базы. В начале ровер должен осуществить инициализацию, которая по существу является измерением быстрой статики, что даёт возможность программному обеспечению в течение постобработки разрешить неоднозначность. База и ровер включаются и остаются абсолютно в стационарном состоянии в течение 5-20 минут, собирая данные (фактическое время зависит от длины базовой линии и числа наблюдаемых спутников). После измерений ровер может свободно передвигаться. Пользователь имеет возможность выбрать: записывать координаты с предварительно установленным интервалом в записи, записывать отдельные координаты или записывать комбинацию этих данных. Эта часть измерений обычно называется кинематической цепочкой. Основное на чём нужно сосредоточиться при выполнении кинематических измерений – это то, что не нужно проходить с ровером слишком близко к объектам, которые могут блокировать спутниковый сигнал. Если в любой момент число отслеживаемых ровером спутников снизится до менее, чем до четырёх, то надо

остановиться, и выйти на место, где отслеживаются 4 или более спутников и снова выполнить инициализацию перед продолжением измерений.

Кинематический режим определения потребителя ГНСС в реальном масштабе времени (*режим RTK*) - кинематический режим определения местоположения потребителя ГНСС, при котором навигационные спутниковые измерения, выполненные на определяемом пункте спутниковой геодезической сети, по каналам связи передаются на опорный пункт спутниковой геодезической сети для последующей их постобработки.

RTK – это кинематика в реальном времени, при этом база снабжена радиомодемом, передающим данные, которые она принимает от спутников. Ровер также имеет радиомодем и принимает сигналы от базы и спутниковые данные непосредственно от спутников с помощью его собственной GPS антенны. Эти два набора данных могут быть совместно обработаны ровером для разрешения неоднозначности и получения очень точных координат относительно базы. Как только база будет установлена и начнёт передачу данных с помощью радиомодема, ровер может быть активизирован. После того, как он начнёт отслеживать спутники и принимать данные от базы, начинается процесс инициализации. Как только инициализация завершится, неоднозначности будут разрешены, и ровер может начать запись координат точек. В этот момент точность определения базовых линий будет на уровне 1 - 5 см. Важно поддерживать контакт с базой, иначе ровер может потерять определённую неоднозначность. Это приводит к потере точности результатов. RTK быстро становятся общеиспользуемым методом выполнения таких измерений с высокой точностью на небольших участках как топографическая съёмка, разбивка, и т. д.

Режим "стой-иди" (*stop & go*) определения местоположения потребителя ГНСС - это кинематический режим определения местоположения потребителя ГНСС, предусматривающий кратковременную остановку на определяемом пункте спутниковой геодезической сети и требующий, чтобы при перемещении от пункта к пункту сохранялась радиовидимость не менее, чем до четырех навигационных космических аппаратов ГНСС. Таким образом, работа способом «стой-иди» складывается из выполнения подвижной станцией приёма, называемого инициализацией (продолжительностью около 15 минут), и выполнения связанных с этой инициализацией приёмов на определяемых точках продолжительностью до 1 минуты. В случаях, если эксплуатационная документация спутниковой аппаратуры содержит конкретные указания о минимально необходимом времени наблюдений для реализации того или иного метода, при проектировании и выполнении спутниковых определений целесообразно время наблюдений уточнять в соответствии с данными эксплуатационной документации.

Большинство RTK систем использует небольшие модемы УВЧ диапазона. Радиосвязь – это часть RTK системы, с которой большинство пользователей испытывают трудности. Чтобы оптимизировать эффективность радиосвязи, стоит обратить внимание на следующие факторы:

1. Мощность радиопередачи до 0.5 до 2 Вт.
2. Высота антенны передатчика: чем выше положение антенны, тем меньше проблем с прямой видимостью и дальностью действия передатчика.
3. Длина кабеля радиоантенны: длинный кабель - это большие потери мощности сигнала.

Перед выходом в поле необходимо иметь:

1. Лицензии на пользование радиосвязью.
2. Электропитание оборудования.
3. Запасные кабели.
4. Взаимосвязь между частями оборудования
5. Координаты референц-станции.
6. Достаточные объемы карты памяти.
7. График измерений.
8. В течение измерений статикой и быстрой статикой необходимо всегда заполнять полевой журнал на каждой точке.
9. В течение измерений статикой и быстрой статикой важно правильно измерить высоту антенны в начале и конце измерений на точке: антенну обычно прикрепляют к вехе с фиксированной высотой; антенна должна быть абсолютно неподвижной; смещения или вибрация антенны могут неблагоприятно сказаться на результатах.

Постобработка навигационных спутниковых измерений – это математическая обработка в камеральных условиях всей совокупности навигационных спутниковых измерений, полученных с помощью геодезической навигационной аппаратуры потребителя ГНСС с пунктов спутниковой геодезической сети с целью определения их пространственных прямоугольных координат.

Постобработка спутниковых измерений основана на дифференциальной методике, суть которой состоит в следующем. При измерениях всегда одновременно используются минимум два приёмника. Базовый приёмник всегда устанавливается в точке с фиксированными или известными координатами. Другой приёмник(и) свободно перемещается вокруг. Поэтому они и называются роверами (бродяги). Между базовым приёмником и ровером вычисляется базовая линия, путем измерения расстояний до четырёх спутников и последующего вычисления координат по этим дальностям. Поскольку базовый приемник находится на точке с известными координатам, то он имеет

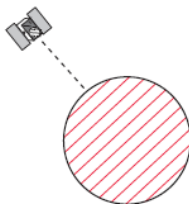
возможность точно оценить, каковы должны быть дальности до спутников и определить разность между вычисленными и измеренными дальностями. Эти разности называются дифференциальными поправками и по радиомодему передаются роверам. Ровер вычисляет дальности до спутников, но уже с учетом принятых поправок, что позволяет более точно вычислять его координаты. Следует отметить, что неограниченное число роверов могут принимать поправки от одной единственной базовой станции.

Еще одна проблема спутниковых измерений - это не синхронность часов приёмника и спутника, которая устраняется путем двойного вычисления разностей. Если два GPS приёмника выполняют измерение до двух различных спутников, то смещения часов приёмников и спутников аннулируются. После удаления ошибок часов с помощью двойного вычисления разностей, можно определить целое число длин волны несущей плюс её дробную часть между спутником и антенной приёмника.

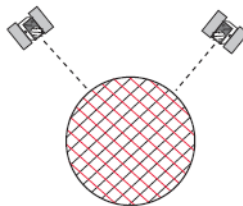
Другая проблема состоит в том, что имеется множество «наборов» возможных целых длин волны для каждого наблюдаемого спутника, что приводит к неоднозначному решению. Разрешить эту неоднозначность можно с помощью статистических расчётов, схема которых приведена ниже (рис. 1). Код, полученный в результате дифференциальных измерений, может быть использован для получения приблизительного положения:



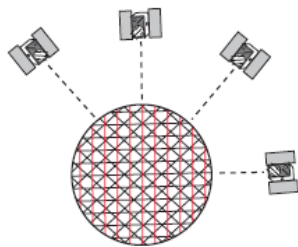
- 1) точный ответ должен лежать где-нибудь в пределах этого круга.



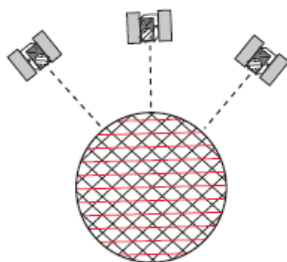
- 2) волновой фронт от отдельного спутника попадает как внутрь, так и за пределы круга; искомая точка должна лежать где-нибудь на одной из линий, образованных этими волновым фронтом внутри круга.



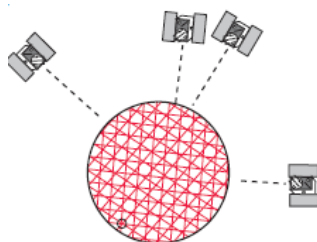
- 3) В случае наблюдения второго спутника, образуется второй набор волновых фронтов или фазовых линий; искомая точка должна находиться на одном из пересечений двух наборов фазовых линий.



- 4) Добавим третий спутник, и это ещё более сузит круг поиска.



- 5) Добавим третий спутник – это позволит еще сузить круг поиска; точка должна находиться на пересечении всех трёх фазовых линий.



- 6) Как только конфигурация спутникового созвездия изменится, появится тенденция к развороту вокруг одной из точек, которая и представляет наиболее вероятное решение.

При этом получают следующие методы постобработки:

первые разности (фазовых измерений в спутниковых наблюдениях) - метод обработки данных, при котором получают разности фазовых измерений при наблюдении одного спутника двумя приемниками с целью исключения ухода показаний часов на спутнике и значительного уменьшения влияния атмосферы;

вторые разности (фазовых измерений в спутниковых наблюдениях)- метод обработки данных, при котором получают разности первых разностей при наблюдении в одно время (эпоху) двумя приемниками двух спутников, чем достигается исключение погрешности показания часов, как на спутнике, так и в приемнике

третьи разности (фазовых измерений в спутниковых наблюдениях) - метод обработки данных, при котором получают разности вторых разностей при наблюдении двумя

приемниками двух спутников, в две разных эпохи, чем дополнительно достигается исключение необходимости разрешения неоднозначности фазовых измерений

В целом вычислительная обработка спутниковых измерений производится по следующим этапам:

- 1) предварительная обработка (постобработка) – разрешение неоднозначностей фазовых псевдодальностей до наблюдаемых спутников, получение координат определяемых точек в системе координат глобальной навигационной спутниковой системы и оценка точности;
- 2) трансформация измеренных координат в принятую систему координат;
- 3) уравнивание геодезических построений и оценка точности.

Программа математической обработки навигационных спутниковых измерений – компьютерная программа, предназначенная для проведения постобработки навигационных спутниковых измерений. В качестве программного обеспечения для производства вычислительной обработки следует использовать программные пакеты, прилагаемые к спутниковой аппаратуре, применявшейся для производства полевых работ. Примерами таких наиболее распространённых программных пакетов являются: Trimble Business Center (Trimble R7 GNSS, Trimble R8 GNSS), Topcon Tools (GB-1000, GR5). При этом используются универсальные форматы:

- *формат данных RINEX* - формат навигационных спутниковых измерений, который позволяет осуществлять обмен данными между навигационной аппаратурой потребителя ГНСС различных фирм-производителей и выполнять постобработку навигационных спутниковых измерений;
- *формат данных SINEX* - формат представления данных, который позволяет осуществлять обмен информацией между программами обработки GPS наблюдений различных производителей.

Согласно «ИНСТРУКЦИИ ПО РАЗВИТИЮ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ И СЪЕМКЕ СИТУАЦИИ И РЕЛЬЕФА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ГЛОНАСС И GPS» ГКИНП (ОНТА)-02-262-02 полевые работы по развитию съёмочного обоснования с применением спутниковой технологии следует производить в соответствии с техническим проектом по рабочей программе полевых работ (пример см. Приложение 1), откорректированной по результатам рекогносцировки. При этом должны быть реализованы быстрый статический, метод реокупации или статический, указанные в рабочей программе полевых работ для тех или иных сеансов. На каждом пункте необходимо выполнить один приём, а реализуя метод реокупации – два приёма с

интервалом от 1 до 4 часов. В сеансе для осуществления приёма на каждом пункте необходимо выполнить следующие операции:

- провести развёртывание аппаратуры, установить приёмник на пункте и определить высоту антенны;
- подготовить приёмник к работе, как указано в эксплуатационной документации;
- установить режим регистрации данных наблюдения спутников;
- пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство: значение номера пункта, значение высоты антенны и вспомогательную информацию: время начала и конца приёма, потерь связи и др.;
- провести приём наблюдений спутников в течение времени, указанного в рабочей программе полевых работ для применяемого метода спутниковых определений;
- выключить режим регистрации данных и выполнить свёртывание аппаратуры;
- в заключение работ на объекте необходимо выполнить вычислительную обработку данных наблюдений спутников и составить каталог координат и высот пунктов съёмочного обоснования.

Методы спутниковых определений по дальности и точности обеспечивают возможность проведения съёмочных работ непосредственно на основе государственной геодезической и нивелирной сети. Поэтому проведение съёмочных работ этими методами исключает необходимость создания и использования геодезических сетей сгущения, съёмочного обоснования и его сгущения, за исключением случаев, когда при съёмке ситуации и рельефа использование в качестве точек установки базовой станции пунктов государственной геодезической и нивелирной сети по причинам организационного характера нецелесообразно.

В качестве исходных пунктов для привязки следует использовать все пункты геодезической основы, находящиеся в пределах объекта, и ближайшие к объекту за его пределами, но не менее 4 пунктов с известными плановыми координатами и не менее 5 пунктам с известными высотами.

Для производства съёмки ситуации и рельефа рекомендуется использовать способ «стой-иди». Для производства съёмки ситуации и рельефа в качестве пунктов установки базовой станции необходимо проектировать использование любых задействованных для привязки пунктов геодезической основы с таким расчётом, чтобы расстояния от них до съёмочных пикетов, на которых в ходе работ размещается подвижная станция, были минимальны. При этом следует, пользуясь картой объекта, разбить объект на участки, отнесённые к определённым пунктам геодезической основы. При разбиении необходимо

обеспечить перекрытие участков на ширину не менее значений, указанных в табл. 3, стараясь придерживаться заметных контуров местности.

Таблица 2. Минимальная ширина полосы перекрытия участков съёмки, обеспечиваемых с разных пунктов геодезической основы.

Минимальная ширина полосы перекрытия участков съёмки, обеспечиваемых с различных пунктов геодезической основы (м) Масштаб съёмки	Высота сечения рельефа, м			
	0,5	1,0	2,0 (2,5)	5,0
1:5 000	60	80	100	120
1:2 000	40	40	50	-
1:1 000	20	30	-	-
1:500	15	15	-	-

При применении спутниковой аппаратуры и прилагаемых к ней программных пакетов для съёмки ситуации и рельефа этап подготовки к производству работ складывается из следующего:

- 1) выполнения требований эксплуатационной документации по подготовке аппаратуры к работе;
- 2) проверки готовности аппаратуры и исполнителей к осуществлению работ по рабочей программе полевых работ;
- 3) проведения операций по прогнозированию спутникового созвездия;
- 4) По полученным в результате прогнозирования периодам времени, оптимальным для наблюдения спутников на каждом пункте геодезической основы и участке съёмки, находят зоны перекрытия и устанавливают периоды времени, оптимальные для выполнения сеанса (при выполнении привязки) или съёмки участка;
- 5) эти данные в виде даты проведения работ и времени начала и конца интервала (периода), в который параметры конфигурации спутникового созвездия оптимальны для спутниковых определений, заносят в рабочую программу полевых работ (пример см. приложение 2);
- 6) съёмочные работы следует производить в соответствии с техническим проектом, разработанным с учётом указаний по рабочей программе полевых работ, выполняя съёмку способом «стой-иди»;

7) при съёмке ситуации и рельефа укрупнённо полевые работы на объекте складываются из доставки приёмников и оборудования на пункты геодезической основы, выполнения привязки сеансами в соответствии с рабочей программой полевых работ по привязке и съёмки ситуации;

8) осуществляя съёмку на каждом участке подвижной станцией (ровером) необходимо выполнить приём инициализации и приёмы на всех съёмочных пикетах, а базовой станцией – один приём, по времени охватывающий все приёмы, выполняемые подвижной станцией.

9) при производстве съёмки на каждом участке, приём, осуществляемый базовой станцией, следует выполнять в течение всего времени производства работ подвижной станцией на этом участке;

10) при производстве съёмки работу, проводимую подвижной станцией, следует выполнять, придерживаясь рекомендаций, данных в эксплуатационной документации, прилагаемой к приёмнику. Для осуществления работ на каждом участке необходимо выполнить следующие действия:

- провести развёртывание аппаратуры, входящей в комплект подвижной станции так, как это рекомендовано эксплуатационной документацией для способа «стой-иди», и определить высоту антенны;

- подготовить приёмник к работе, как указано в эксплуатационной документации;
- установить режим «стой-иди»;
- установить режим регистрации данных наблюдений спутников;
- пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство значение высоты антенны;

- выполнить инициализацию, как описано в эксплуатационной документации применяемого приёмника, и, не выходя из режима «стой-иди», выключить режим регистрации данных наблюдения спутников;

- установить приёмник на съёмочный пикет;
- установить режим регистрации данных наблюдения спутников;
- пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство значение номера пикета, значение высоты антенны и необходимую семантическую информацию (пример см. Приложение3);

- выполнить регистрацию данных наблюдения спутников в течение времени, указанного в рабочей программе полевых работ, и, не выходя из режима «стой-иди», выключить режим регистрации данных;

- повторить действия по подпунктам на всех пикетах участка съёмки.

11) выключить приёмник и выполнить свёртывание аппаратуры.

Поскольку применение способа «стой-иди» требует непрерывного наблюдения необходимого числа спутников во всё время выполнения съёмки на участке после каждой инициализации, то, как при выполнении приёма на пикете, так и при переходе от пикета к пикету необходимо избегать потерь связи.

Выполнение полевых работ при съёмке необходимо сочетать с камеральной обработкой материалов съёмки, в ходе которой должно быть выполнено следующее:

1) проверка полевых журналов и составление подробной схемы привязки;

2) вычисление координат и высот всех пикетов, проведение горизонталей и оформление плана.

Примерные контрольные тесты.

1. Абсолютные определения выполняются по принципу
пространственной обратной линейной засечки
пространственной прямой линейной засечки
пространственной обратной угловой засечки
пространственной прямой угловой засечки
2. Стандартная точность определения местоположения абсолютным методом не превышает
0,5 м 1 м 5 м 10 м
3. В геодезических измерениях применяют методы определения координат
абсолютные
относительные
кинематические
статические
верны все ответы

Лекция 2.4. Спутниковые определения при создании государственных геодезических сетей

Содержание.

1. Нормативная база построения геодезических сетей с использованием спутниковых технологий.
2. Особенности закрепления пунктов спутниковой городской геодезической сети.
3. Пункты каркасной сети (КС).

4. Камеральная обработка и уравнивание спутниковых измерений.

Появление спутниковых геодезических приемников потребовало существенного пересмотра традиционных подходов к проблеме реконструкции городских геодезических сетей. Выполнение геодезических работ в городах традиционными геодезическими методами производилось согласно «Инструкции по топографической съемке в масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500» (ГКИНП-02-033-79), изд. 1982 г. и "Руководства по математической обработке геодезических сетей и составлению каталогов координат и высот пунктов в городах и поселках городского типа», изд. 1990 г. Нормативным документом, детально регламентирующим выполнение городских геодезических работ с использованием спутниковых приемников, является «Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS» (ГКИНП (ОНТА)-01-271-03). В руководстве изложены сведения о спутниковых радионавигационных системах (СРНС) ГЛОНАСС и GPS, классификации спутниковых городских геодезических сетей, освещены принципы построения городской геодезической сети с использованием спутниковых технологий, этапы создания и реконструкции городских геодезических сетей.

Целью реконструкции городских геодезических сетей является повышение точности сети, надежности определения параметров преобразования между геоцентрической общеземной координатной системой, государственной и городской геодезическими системами координат и возможность формировать каталог координат пунктов во всех используемых в городе координатных системах. Главной особенностью работ по созданию и реконструкции городских геодезических сетей является необходимость сохранения городской системы координат, в которой ранее были выполнены крупномасштабные съемки территории городов (1:500 - 1:2000) и одновременно с этим обеспечить высокую однородную точность городской геодезической сети для решения других задач. Периодичность реконструкции городских геодезических сетей производится в сроки, определенные для обновления топографических планов. Допускается осуществлять реконструкцию без обновления планов в случае большой утраты пунктов при интенсивном развитии городской инфраструктуры.

В Руководстве также приводятся принципы создания и хранения каталогов и схем в электронной форме с прилагаемым банком геодезических данных. Это дает возможность оперативного исправления при последующих топографо-геодезических работах, а также обеспечивает исходной информацией обработку геодезических измерений, цифровой картографии, ГИС технологий, для издания разнообразных каталогов и топографо-геодезических материалов, экспорта данных в различные

информационные системы. В приложениях к Руководству приведены примеры схем спутниковых сетей, формул обработки, образцы оформления отчётных материалов с использованием ЭВМ. Компьютерные элементы оформления касаются применяемых в документах текстов и шрифтов к ним, а также таблиц, каталогов координат, условных знаков, этикеток.

Классификация сетей.

Классические наземные городские геодезические сети по методу построения подразделяются на триангуляцию, трилатерацию, полигонометрию; по точности взаимного положения пунктов - на классы и разряды (табл. 1). Классификация спутниковых городских сетей приведена в табл. 2. Значения средних погрешностей взаимного положения любых пунктов спутниковых городских геодезических сетей не должны превышать 30 мм.

Табл. 1. Точность взаимного положения пунктов городских геодезических сетей

Класс триангуляции, полигонометрии (ГГС)	Разряд триангуляции	Разряд (класс) городской полигонометрии	Относительная ошибка стороны (хода городской полигонометрии)	
			базисной стороны сети	слабой стороны сети
1			1:400 000	1:150 000
2	I		1:300 000	1:250 000
3	II		1:200 000	1:120 000
4	III		1:200 000	1:70 000
		4 класс	1:25 000	
		1	1:10 000	
		2	1:5 000	

Табл. 2. Типы спутниковых городских сетей.

Тип сети	Точность определения координат, см	Относительная ошибка определения линий не грубее	Значения средних погрешностей взаимного положения пунктов, мм
исходный пункт (ИП)	1 - 2	1:1 000 000	-
каркасная сеть (КС)	1 - 2	1:500 000	15
спутниковая городская геодезическая сеть 1 класса (СГГС-1)	1 - 2	1:150 000	20
спутниковая городская геодезическая сеть 2 класса (СГГС-2)		1:150 000	-

Полигонометрия 2 разряда создается в виде исключения при необходимости создания геодезического обоснования на отдельных участках территории города. Пункты городской триангуляции должны быть заменены пунктами спутниковой сети. В случае их

утраты пункты спутниковой сети совмещаются с ближайшими к ним (по примыкающим ходам) пунктами полигонометрии. Таким образом, ранее созданная сеть городской триангуляции перекрывается СГГС и теряет свое значение. При этом переуравнивание сетей городской триангуляции прошлых лет исключается, т.к. исходными пунктами для переуравнивания старой сети служат пункты спутниковой сети, в том числе совмещенные с пунктами городской триангуляции.

Плотность пунктов ГГС

Плотность пунктов создаваемой (реконструируемой) городской геодезической сети должна удовлетворять следующим требованиям:

- один или несколько исходных пунктов (ИП) создаются в городах площадью не менее 100 кв. км с населением не менее 500 тысяч человек и при наличии перспективы преобразования их в пункты ФАГС, ВГС или постоянно действующие пункты для навигационных систем;
- для населенных пунктов площадью до 20 кв. км допускается объединение исходных пунктов (ИП) и пунктов каркасной сети (КС); наблюдения при этом выполняются по программе пунктов каркасной сети;
- плотность КС составляет 1 пункт на 40- 100 кв. км городской геодезической сети, но в любом случае не менее трех пунктов;
- плотность СГГС-1 составляет 1 пункт на 5-40 кв. км городской геодезической сети;
- плотность СГГС-2 должна удовлетворять текущие потребности городского геодезического обоснования.

Общая плотность закрепленного городского геодезического обоснования должна соответствовать:

- плотно застроенная территория не менее – 16 пунктов на 1 кв. км
- слабо застроенная территория не менее – 4 пункта на 1 кв. км
- незастроенная территория не менее – 1 пункт на 1 кв. км.

Особенности закрепления пунктов спутниковой городской геодезической сети

Исходный пункт (ИП) представляет собой взаимосвязанную систему основных и контрольных центров, на которые распространяются требования, предъявляемые к пунктам ФАГС или ВГС. Долговременная сохранность и стабильность центров ИП должна быть обеспечена закладкой центров типа 161 или 162, по возможности совмещенными с существующими центрами государственного нивелирования I-II класса. Допускается размещение центра ИП на крыше здания с учетом по возможности максимального исключения радиопомех, экранировки принимаемых сигналов, наличия отражающих объектов. Стабильное положение основного центра относительно

контрольного проверяется высокоточными геодезическими измерениями с периодичностью не реже одного раза в 2 года. Основной и контрольные центры ИП должны иметь согласованную с органами землеустройства, архитектуры и градостроительства охранную зону, позволяющую выполнять спутниковые наблюдения в благоприятных условиях.

Пункты каркасной сети (КС) должны быть максимально совмещены с исходными пунктами ранее созданной городской сети и ближайшими пунктами государственной сети. В качестве совмещенных пунктов КС предпочтительно выбирать существующие пункты глубокого заложения либо надстройки на зданиях. Закладка дополнительных пунктов производится в исключительных случаях центрами глубокого заложения. Тип центра вновь заложённых пунктов устанавливается в зависимости от физико-географических условий и глубины промерзания грунта в соответствии с требованиями «Правил закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей».

Пункты спутниковой городской геодезической сети 1 класса (СГГС-1) должны быть максимально совмещены с сохранившимися пунктами городской триангуляции 1, 2 и 3 классов, а также с основными узловыми пунктами городской полигонометрии и пунктами высокоточных сетей специального назначения (геодезическая сеть для строительства метрополитена, нивелирная сеть и др.). Закладка дополнительных пунктов производится в необходимых случаях для обеспечения необходимой плотности сети.

Центры пунктов СГГС-1 представляют собой центры существующих пунктов, предпочтительно глубокого заложения либо надстройки на зданиях. Вновь закладываемые центры должны быть центрами глубокого заложения или стенными парами. Тип центра вновь заложённых пунктов устанавливается в зависимости от физико-географических условий и глубины промерзания грунта в соответствии с требованиями «Правил закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей».

Пункты спутниковой городской геодезической сети 2 класса (СГГС-2) должны быть максимально совмещены с сохранившимися пунктами городской полигонометрии, пунктами высокоточных сетей специального назначения (геодезическая сеть для строительства метрополитена, нивелирная сеть и др.) и пунктами съёмочной сети. Закладка дополнительных пунктов производится в необходимых случаях для обеспечения необходимой плотности сети. Центры совмещённых и вновь закладываемых пунктов СГГС-2 могут быть центрами как глубокого, так и мелкого заложения, стенными парами или надстройками на зданиях.

Пункты спутниковой городской геодезической сети всех классов должны удовлетворять требованиям долговременной сохранности и стабильности положения.

Факторы, мешающие приему спутниковых сигналов (радиопомехи, экранировка принимаемых сигналов, наличие отражающих объектов) должны быть выявлены и устранены или сведены к минимуму.

Принципы построения городской геодезической сети спутниковыми технологиями

До начала проведения работ в целях обеспечения преемственности геодезической информации должен быть выполнен анализ существующих на территории города геодезических построений и установлена их точность. Реальная точность взаимного положения пунктов существующей городской сети и государственной геодезической сети вокруг города определяется путем сравнения длин контрольных линий, полученных из спутниковых измерений и вычисленных по значениям координат пунктов.

Один или несколько исходных пунктов (ИП), устанавливающих связь с общеземной геоцентрической системой координат, должны быть определены относительно не менее трех близлежащих пунктов ФАГС, ВГС либо международных постоянно действующих пунктов. ИП должны иметь перспективную возможность переоборудования их в постоянно действующие пункты ФАГС или ВГС. Для вычислений используется информация об измерениях на международных постоянно действующих пунктах или на пунктах ФАГС соответствующая времени наблюдений на ИП.

В спутниковой геодезической сети необходимо выделить каркас в объеме не менее 3 пунктов для создания высокоточного геодезического обоснования городской сети и для связи с государственной сетью. На указанных пунктах должны быть выполнены спутниковые измерения, обеспечивающие их взаимное положение с повышенной точностью.

Пункты каркасной сети должны быть максимально совмещены с исходными пунктами ранее созданной городской сети и ближайшими пунктами государственной сети. Это обеспечит передачу государственной системы координат на пункты городской сети с максимально возможной в настоящее время точностью. Результаты измерений на пунктах КС для включения в государственную геодезическую сеть передаются в предприятие, ответственное за уравнивание государственной геодезической сети.

При построении спутниковой городской геодезической сети необходимо использовать максимальное количество одновременно работающих спутниковых приемников, что позволяет за счет избыточных измерений повысить точность и надежность результатов наблюдений.

Пункты спутниковой городской геодезической сети (СГГС) должны быть максимально совмещены с сохранившимися пунктами городской триангуляции, основными узловыми пунктами городской полигонометрии и высокоточных сетей

специального назначения (геодезическая сеть метростроя, нивелирная сеть и др.). Закладка новых пунктов производится в необходимых случаях для обеспечения требуемой плотности сети. Центры пунктов СГГС по возможности должны быть глубокого заложения для надежного хранения высоты. Взамен утраченных пунктов городской триангуляции необходимо создать пункты спутниковой сети на месте пункта триангуляции, либо на месте ближайшего узлового пункта полигонометрии. Все ходы полигонометрии, опирающиеся на утраченные пункты триангуляции необходимо привязать к пункту СГГС.

В местной системе координат спутниковая городская геодезическая сеть должна обрабатываться как условно свободная от исходных пунктов каркасной сети, перевычисленных в местную систему координат (МСК). Ориентировка сети должна была максимально приближена к городской. Анализ расхождений координат на совмещенных пунктах и подбор новых параметров МСК с целью согласования высокой точности спутниковых измерений и сохранения местной системы координат, принятой при создании топографических планов масштаба 1:500, выполняется несколькими приближениями.

Для уравнивания городской сети в государственной системе координат (ГСК) используются новые координаты всех исходных пунктов ГГС, полученные после включения КС города в сеть ГГС при очередном этапе уравнивания. Результаты уравнивания сети в ГСК должны удовлетворять точности съемок мелких масштабов.

Структурная схема спутниковых измерений включает следующие этапы:

- предпроектное обследование пунктов и контрольные измерения;
- проектирование;
- рекогносцировка, обследование и закладка пунктов;
- полевые наблюдения и предварительная обработка результатов на исходном пункте;
- камеральная обработка спутниковых наблюдений на исходном пункте;
- полевые наблюдения и предварительная обработка результатов на пунктах каркасной сети;
- камеральная обработка спутниковых наблюдений на пунктах каркасной сети;
- передача данных спутниковых наблюдений на пунктах каркасной сети для включения в государственную геодезическую сеть;
- полевые наблюдения и предварительная обработка результатов на пунктах спутниковой городской геодезической сети (СГГС);
- камеральная обработка спутниковых наблюдений на пунктах СГГС.

Методы построения городской геодезической сети спутниковыми технологиями

Для производства работ по наблюдению исходных пунктов (ИП) спутниковых городских геодезических сетей допускается применять двухчастотные двухсистемные спутниковые приемники 1 группы (табл. 3). На каркасных сетях (КС) и спутниковых городских геодезических сетях 1 класса (СГГС-1) допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников 1 и 2 группы. На спутниковых городских геодезических сетях 2 класса (СГГС-2) допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников 1 и 2 группы и в виде исключения допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников 3 группы.

Табл. 5. Типы и группы геодезических спутниковых приемников

Тип приемника	Группа	Число каналов не менее	Частоты	Точность
Двухсистемные двухчастотные и более	1	24	L1/L2 (GPS)+ L1/L2 (ГЛОНАСС)	$3 \text{ мм} + 1 \cdot 10^{-6} D$
Односистемные двухчастотные	2	9	L1/L2 (GPS) или L1/L2 (ГЛОНАСС)	$(3-5) \text{ мм} + 1 \cdot 10^{-6} D$
Односистемные одночастотные	3	9	L1 (GPS) или L1 (ГЛОНАСС)	$10 \text{ мм} + 2 \cdot 10^{-6} D$

Определение координат исходных пунктов (ИП) производится с использованием статического режима. Программа спутниковых наблюдений аналогична программе работ на пунктах ФАГС и ВГС. Сеанс наблюдений не менее 5 суток при условии, что имеется возможность получения информации об измерениях на ближайших (не менее 3-х) пунктах ФАГС, ВГС либо международных постоянно действующих пунктов, относящейся к тому же интервалу времени.

Спутниковые наблюдения на пунктах каркасной сети (КС) выполняются для высокоточного определения взаимного положения исходных пунктов городской геодезической сети и для надежной связи городской и государственной систем координат. Спутниковые наблюдения на пунктах каркасной сети выполняются сетевым методом, с использованием статического режима и, как правило, одновременно на всех пунктах каркасной сети. Допускается выполнение наблюдений несколькими перекрывающимися зонами, на которые делится вся создаваемая каркасная сеть. Смежные зоны должны иметь не менее 3 общих пунктов. Программа спутниковых наблюдений должна состоять из сдвоенных, равных по времени сеансов наблюдений продолжительностью не менее 3 часов каждый. К наблюдениям привлекается возможно большее число приемников при возможно меньшем разнообразии типов приемников и антенн.

Наблюдения на пунктах СГГС-1 и СГГС-2 выполняются сетевым и совмещенным методами с использованием статического режима и, как правило, несколькими перекрывающимися зонами, на которые делится вся создаваемая сеть. Смежные зоны должны иметь не менее 3 общих пунктов. Программа спутниковых наблюдений должна состоять из сдвоенных, равных по времени сеансов наблюдений продолжительностью не менее 1,5 часов каждый.

Окончательная обработка состоит из следующих основных процессов:

- редуцирование результатов наблюдений в местную систему координат;
- анализ и минимизация расхождений на совмещенных пунктах;
- подготовка предложений и согласование с ТИГН параметров изменения «ключа» местной системы координат;
- совместное уравнивание городских геодезических сетей работ разных лет;
- составление каталога в цифровой и традиционной форме;
- сдача материалов.

На первом этапе необходимо создать и обработать каркасную сеть с максимальной возможной точностью и передать материалы для включения в государственную геодезическую сеть в предприятие Роскартографии, ответственное за уравнивание государственной геодезической сети данной территории. На втором этапе необходимо создать и обработать спутниковую городскую геодезическую сеть. Окончательные координаты КС и СГГС в государственной системе получают после включения КС в государственную геодезическую сеть (ГГС). Для завершения работ необходимо выполнить приведение существующей городской системы высот к государственной Балтийской системе высот 1977 г. для исключения разночтений в высотах при высокоточных измерениях и инженерно-геодезических работах.

Проектирование геодезических работ

Проектирование городских геодезических сетей включает следующие стадии работ:

- изучение задания на проектирование геодезической сети и особых требований, которые должны быть выполнены при ее построении.
- изучение района предстоящих геодезических работ.
- выбор схемы проектируемой сети.
- выбор метода построения геодезической сети в данном районе и его экономическое обоснование.
- разработка предложений и мероприятий, содействующих успешному выполнению отдельных видов работ.

- оформление технического проекта.

Предварительная графическая схема проектируемой сети составляется на топографических картах, масштаб которых позволяет выдержать угловые и линейные параметры создаваемой сети, как правило, на листах топографической карты масштаба 1:100000 (рис. 1). Топографические карты и планы более крупных масштабов используют для разработки отдельных частей проекта. Выбор схемы проектируемой сети осуществляется исходя из анализа собранных в процессе работ исходных материалов, условий технического проекта, а также исходя из условий соответствующего класса создаваемой сети и выбора методов построения сети. Треугольники в сети должны быть по возможности равноугольными, а минимальное значение угла в сети должно быть не менее 20° и не более 160° . После составления предварительной схемы выбираются пункты существующей геодезической сети соответствующего класса и наносятся на карту. На карту наносятся только те пункты, выбор которых не нарушает геометрических характеристик создаваемой сети.

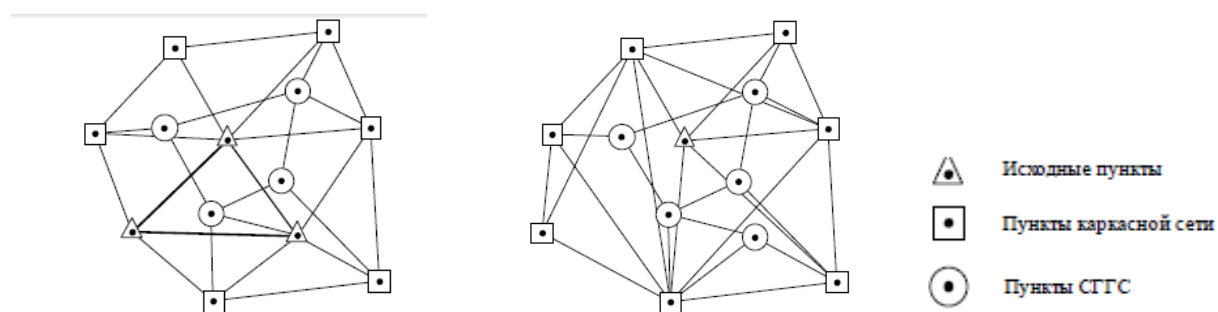


Рис. 1. Типовые схемы спутниковых городских геодезических сетей:

- схема спутниковой городской геодезической сети с тремя исходными пунктами;
- схема спутниковой городской геодезической сети с одним исходным пунктом.

По крупномасштабным картам и планам анализируется местоположение пунктов, включенных в городскую геодезическую сеть на предмет наличия вокруг них препятствий. Для каждого пункта, на котором отмечаются ограничения обзора наблюдаемых спутников из-за наличия тех или иных препятствий, строится полярная диаграмма видимости небосвода с нанесением на нее экранирующих препятствий. На схеме выбирается местоположение пунктов опорных и перемещаемых спутниковых приемников. Согласно выбранной схеме составляется графическая часть проекта создаваемой сети, при этом показываются все связи при наблюдениях на пунктах.

Для достижения однородной высокой точности необходимо проектировать минимальное количество классов и разрядов при совмещении старой и новой геодезических сетей. При проектировании сети с использованием лучевого метода предусмотреть выполнение спутниковых наблюдений на каждом определяемом пункте

дважды с контролем сходимости получаемых результатов. Для пунктов с ограниченным обзором небосвода из-за наличия тех или иных препятствий время для проведения сеансов наблюдений выбирается на основе анализа полярной диаграммы препятствий, дополненной траекториями движения спутников с указанием времени их прохождения по нанесенной на диаграмму траектории. Для организации синхронных наблюдений это время согласуется со временем проведения спутниковых измерений на всех других пунктах, участвующих в планируемом сеансе наблюдений. Необходимо предусмотреть мероприятия по определению параметров перехода между разными координатными системами и их согласованию.

Непосредственно перед началом работ на основе использования спутниковых приемников и прилагаемых к ним обрабатывающих программ уточняются графики изменения геометрического фактора и количества наблюдаемых спутников на период выполнения работ для каждого пункта с тем, чтобы выбрать благоприятные для измерения интервалы времени. Графики составляются на период работы из расчета один график на семь-десять дней, в остальные периоды время для наблюдений выбирается интерполированием. При рабочем проектировании уточняется выбор пунктов для расстановки приемников. Пункты, включаемые в проектируемую спутниковую геодезическую сеть, должны удовлетворять следующим требованиям:

- отсутствие экранирующих препятствий выше 15° над горизонтом;
- отсутствие отражающих поверхностей, которые могли бы создавать многопутность;
- отсутствие мощных радио и телевизионных передатчиков или других излучающих радио-технических устройств;
- отсутствие движущегося транспорта.

Выявляются предварительные интервалы времени с хорошими показателями геометрического фактора на каждый день наблюдений в течение всего периода. Интервалы уточняются в процессе работ по мере получения нового альманаха эфемерид. На крупномасштабной карте определяется азимут на крайние точки препятствия. Определяя азимут, учитывают склонение линий километровой сетки и склонение магнитного азимута на период определения угла. Измеряется расстояние до препятствия с точностью 0.2 мм в масштабе карты и, используя информационную нагрузку карты (высота зданий, деревьев и др.), определяется высота препятствия. Угол наклона вычисляется по формуле:

$$\alpha = \arctg h/S,$$

где h - высота препятствия, S - расстояние до препятствия.

Программа наблюдений составляется на конкретные дни, сопоставляя положения пунктов (опорного и перемещаемого), графики изменения геометрического фактора на период работы и на отдельные пункты с препятствиями, схему измерения пунктов в сети. Выбираются оптимальные пути перемещения между пунктами. В проекте отображаются все проектируемые связи при совместной работе спутниковых приемников, а также схемы существующей и проектируемой геодезической сети города.

Полевые работы. Рекогносцировка и обследование пунктов

Полевые работы по рекогносцировке, обследованию и закладке пунктов производятся только после утверждения рабочего проекта и согласования его с городскими коммунальными службами, землепользователями и другими организациями, интересы которых затрагиваются. Закладка пунктов без согласования с городскими службами запрещается. Рекогносцировка является первым и обязательным этапом полевых работ. В процессе рекогносцировки выполняют:

- уточнение проекта сети для максимального совмещения пунктов проектируемой сети с плановыми и высотными пунктами ранее созданных сетей;
- выбор места закладки новых пунктов;
- согласование выбранных мест закладки с учетом типов применяемых центров.

Не следует размещать пункты внутри металлических ограждений, рядом с высокими зданиями, большими деревьями, а также другими сооружениями, способными экранировать прямое прохождение радиосигналов от спутников. Наличие на существующих пунктах металлических или деревянных сигналов и пирамид нежелательно.

При обследовании должны быть установлены следующие сведения:

- пригодность пунктов городских геодезических сетей для спутниковых определений координат;
- круглосуточная доступность пунктов;
- долговременная сохранность и стабильность закрепления центров;
- отсутствие на пунктах препятствий, закрывающих горизонт выше 15°.

При обследовании должна быть расчищена площадка вокруг пункта от растительности, мешающей прохождению радиосигналов от спутников; демонтирован наружный знак; при отсутствии возможности выполнять измерения с центра пункта, должна быть сделана отметка о необходимости измерений при внецентренном положении спутникового приемника и др. При обследовании верхний центр пункта осторожно вскрывается так, чтобы не было нарушено его положение. Если верхний центр отсутствует или утрачена его марка, вскрывается нижний центр. С марки сохранившегося

центра снимается оттиск. Пункт считается утраченным, если обнаружены явные признаки уничтожения центра. Допускается отнесение пункта к категории "не найден", когда имеются препятствия доступа к центру пункта (асфальт, тротуарная плитка и т.п.).

Привязка исходного пункта к общеземной геоцентрической системе координат

Используемые в геодезии спутниковые координатные определения базируются на применении дифференциальных методов, позволяющих определять разности геоцентрических координат между пунктами. Вместе с тем конечными результатами создаваемой сети должны быть полные значения координат пунктов в той или иной координатной системе. Исходя из этого, возникает необходимость иметь в составе сети хотя бы один опорный пункт с заранее известными значениями геоцентрических координат. Таким пунктом является исходный (ИП). Оптимальным вариантом является наличие в составе сети не менее трех исходных пунктов. Координаты исходного пункта определяются в геоцентрической системе координат (X, Y, Z) , (B, L, H) . От точности знания этих координат зависит положение всей создаваемой сети в более общей координатной системе.

Для корректной математической обработки спутниковых наблюдений сети необходима привязка исходного пункта к геоцентрической системе координат, что обеспечит передачу координат в геоцентрической системе на пункты городской сети с максимально возможной точностью. Исходный пункт размещается или совмещается с существующим пунктом в центральной части объекта.

Рабочий центр ИП должен быть по возможности оборудован устройством принудительного центрирования. Установка антенны спутникового приемника над центром пункта осуществляется с применением центрировочного устройства. Высота антенны над маркой центра измеряется дважды до и после завершения сеанса наблюдений с точностью 1-2 мм. Значения промеров и абрис установки антенны заносятся в карточку спутниковых наблюдений. Признаком завершения инициализации и готовности приемника к наблюдениям являются прием сигналов от спутников и допустимое значение показателя геометрического фактора.

Программа спутниковых наблюдений на исходном пункте аналогична программе работ на пунктах ФАГС и ВГС. Сеанс наблюдений не менее 5 суток при условии, что имеется возможность получения информации об измерениях на ближайших (не менее 3-х) пунктах ФАГС, ВГС либо международных постоянно действующих пунктов, относящейся к тому же интервалу времени. Обработка результатов наблюдений и определение геоцентрических координат исходных пунктов выполняется с использованием

специальных программ, позволяющих выполнять обработку линий свыше 1000 километров с использованием данных наблюдений на всех пунктах.

Спутниковые наблюдения на пунктах каркасной и заполняющей сетей

Спутниковые наблюдения на пунктах каркасной сети выполняются сетевым методом, с использованием статического режима и одновременно на всех пунктах каркасной сети. Допускается выполнение наблюдений несколькими перекрывающимися зонами, на которые делится вся создаваемая каркасная сеть. Смежные зоны должны иметь не менее 3 общих пунктов и обязательно включать один исходный пункт (ИП).

Программа спутниковых наблюдений должна состоять из сдвоенных, равных по времени сеансов наблюдений. Время наблюдений зависит от длин сторон каркасной сети (табл. 6). Продолжительность сеанса наблюдений определяется по времени наблюдений максимальной стороны сети в сеансе. Между сеансами наблюдений обязательна повторная установка антенны при изменении ее высоты не менее, чем на 10 см. Повторная центрировка обязательна на всех пунктах кроме пунктов с системами принудительного центрирования.

Таблица 6. Время наблюдений в зависимости от длин сторон каркасной сети

Длина линии, км	Продолжительность одного сеанса, час
до 15	3
15 - 30	3 - 4
свыше 30	не менее 4

При выполнении городских геодезических работ часто возникает ситуация, когда невозможно или нецелесообразно устанавливать спутниковый приемник непосредственно над центром пункта. Передача координат в государственной или местной системе от постоянного центра геодезического пункта на место установки спутникового приемника (сносение координат, привязка к стенной паре и др.) является классической задачей геодезии. Полярный метод применяют, когда имеется возможность установки геодезических приборов на постоянном центре пункта и есть прямая возможность угловых и линейных измерений. Метод угловой засечки применяют при недоступности пунктов местной сети. В этом способе достаточным условием для передачи координат с постоянного центра пункта сети на рабочий центр является измерение группы углов из простых геометрических построений. Передача координат с постоянного центра пункта сети, установленного на здании, осуществляется на два наземных рабочих центра. Каждый рабочий наземный центр закрепляется двумя стенными знаками. Для лучшей геометрии сети расстояние между рабочими центрами должны быть не менее 200 м.

Измерение углов и сторон в образовавшихся треугольниках выполняют с точностью соответствующего класса (разряда). Углы треугольников должны быть не менее 30°.

После окончательной обработки сети передача координат от мест установки спутниковых приемников (рабочих центров) на постоянные центры пунктов сети осуществляется аналогичными методами, кроме передачи координат на стенные знаки. На стенные знаки координаты передаются с временных рабочих центров, на которых выполняются угловые и линейные измерения традиционными геодезическими методами, при этом углы и стороны измеряются с точностью соответствующего класса. Для исключения ошибок рекомендуется привязку стенных знаков выполнять с контролем, состоящим в том, что его выполняют дважды: один раз от временного центра, а второй - от контрольного центра. Измерения для передачи координат с временных точек на центры стенных знаков выполняют с суммарной средней квадратической погрешностью ± 2 мм. Контроль при привязке стенных знаков осуществляется из сравнения измеренного расстояния между знаками и вычисленного. Расхождение вычисленных и измеренных значений расстояний при каждом определении не должно превышать 4 мм. Расхождений 2-х вычисленных значений не превышать 6 мм.

Вычисление геоцентрических координат центра пункта местной сети по геоцентрическим координатам пункта спутниковой сети требует строгой ориентировки элементов редукции по направлению истинного меридиана и знания точных параметров связи геоцентрической и топоцентрической систем координат. Выполнение этой операции при помощи прилагаемого к спутниковому приемнику программного обеспечения по приблизительным параметрам связи геоцентрической и референционной систем координат (введение редукции) допускается для спутниковых городских геодезических сетей лишь на этапе предварительной обработки.

Вычисление геоцентрических координат пункта местной сети по спутниковым измерениям на вспомогательных точках является более строгим способом. Для вычисления пространственных координат наземного пункта сети по спутниковым наблюдениям на вспомогательных точках разбивают створ с двумя вспомогательными точками, затем выполняют спутниковые наблюдения на вспомогательных точках и измеряют рулеткой или светодальномером расстояния между центром пункта и вспомогательными точками. Спутниковые наблюдения на третьей вспомогательной точке и измерение расстояния между ней и центром пункта выполняют для контроля.

Аналогично определяют пространственные координаты стенных пунктов по спутниковым наблюдениям на вспомогательных точках установленных в створе с определяемыми стенными пунктами. При невозможности разбивки одного створа для

двух стенных пунктов, разбивают два створа, включая в каждый по одному стенному пункту. Разбивка створов, для установки вспомогательных точек выполняется не только в плане, но и по высоте с точностью ± 2 мм. При этом линии измеряются наклонные.

Программа спутниковых наблюдений при внецентренной установке должна состоять из утроенных, равных по времени сеансов наблюдений, между которыми производится перестановка антенн спутниковых приемников, повторная центрировка и измерение высоты их установки.

По результатам предварительной обработки делается вывод о пригодности полевых материалов, либо о необходимости повторных или дополнительных наблюдений. Основными критериями контроля являются:

- разрешение неоднозначности по всем линиям сети;
- оценка точности по внутренней сходимости результатов обработки;
- сходимость результатов по замкнутым построениям в сети;
- сходимость с ранее выполненными измерениями и контрольными расстояниями между известными пунктами.

Расхождения между результатами определения линий из разных сеансов устанавливается исходя из следующих величин ожидаемых точностей разового определения компонент пространственных векторов при использовании бортовых эфемерид спутников (с учетом ошибок центрировки и измерения высоты антенн):

- для двухчастотных измерений за время наблюдений от 1 до 3 часов и при любых расстояниях средняя квадратическая ошибка $m = \pm (5 + 5 \cdot 10^{-7} D)$, мм определения каждой из плановых компонент;

- для одночастотных измерений за время наблюдений от 1 до 3 часов и при расстояниях в несколько километров (до 10 км) средняя квадратическая ошибка $m = \pm (10 + 1 \cdot 10^{-6} D)$, мм определения каждой из плановых компонент;

- для одночастотных измерений при расстояниях до нескольких сотен метров средняя квадратическая ошибка $m = \pm 5$ мм определения каждой из плановых компонент.

Для определения разностей высот принимается значение ошибки в 1,5 раза больше при расстояниях более 1 км и в 2 раза больше при расстояниях менее 1 км.

Допуски устанавливаются исходя из допуска на разность двойных измерений:

$$\Delta = k \cdot m \sqrt{2} \quad \text{для парных измерений,}$$

$$\Delta = k \cdot m \quad \text{для уклонения от средних значений при числе определений базовой линии больше 2.}$$

Здесь значение k устанавливается равным 2,0, что соответствует доверительной вероятности около 95%. Расхождения, соответствующие значениям k больше 3 не допускаются. В этом случае необходимо выполнить повторные наблюдения.

Оценка точности измерений геодезической спутниковой аппаратурой выполняется по замкнутым фигурам (полигонам). Допустимая невязка приращений координат вычислялась по следующей формуле:

$$W_{f, \text{дон}} = \sqrt{(m_{1, \text{дон}})^2 + (m_{2, \text{дон}})^2 + (m_{3, \text{дон}})^2},$$

где $m_{i, \text{дон}}$ – допустимые значения погрешностей по сторонам треугольника.

Фактическая невязка приращений координат рассчитывается по формуле:

$$W_f = \sqrt{(W_{\Delta X})^2 + (W_{\Delta Y})^2 + (W_{\Delta Z})^2}$$

где $W_{\Delta X}$, $W_{\Delta Y}$, $W_{\Delta Z}$ – невязки по осям координат.

При этом допустимая погрешность измерения длины определяется по формуле:

для линий длиной менее 5 км

$$m_{\text{дон}} = (5 + 5 \cdot 10^{-6} \cdot D) \text{ мм},$$

для линий длиной более 5 км используется следующая формула:

$$m_{\text{дон}} = (5 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D) \text{ мм},$$

где D – измеряемое расстояние в м.

Предварительная обработка результатов спутниковых наблюдений и определение предварительных геоцентрических координат пунктов спутниковой сети может выполняться с использованием стандартного программного обеспечения фирмы-изготовителя спутниковых приемников, позволяющего выполнять обработку линий не менее 20 километров, с использованием данных наблюдений на всех линиях сеанса наблюдений, и сертифицированных для применения на территории РФ. Программы обработки спутниковых наблюдений разделяются по методу обработки спутниковых данных:

- вычисления отдельных линий;
- многоточечные решения;
- многосеансные.

Метод обработки отдельных линий обеспечивает контроль и локализацию некачественных линий и точек. Некачественные точки могут быть локализованы по оценке точности линий, сходящихся в этой точке. Другим методом контроля, позволяющим локализовать некачественные линии, является контроль по замкнутым

геометрическим построениям. Если сумма приращений координат по замкнутому векторному ходу соответствует требуемой точности, то линии, входящие в это построение, являются качественными. При обработке спутниковых данных методом вычисления отдельных линий применяются три варианта:

- обработка всех возможных комбинаций отдельных линий;
- обработка только независимых линий;
- комбинированный вариант, в котором используется число линий большее, чем во втором варианте, или при использовании результатов более, чем одного сеанса наблюдений.

Процесс обработки данных состоит из трех основных этапов. Первый заключается в выборе данных и параметров вычислений. На втором этапе происходят непосредственно вычисления, выполняемые автоматически и не требующие вмешательства оператора. Результаты для анализа и последующего сохранения в базе данных представляются на последнем этапе. Выбор данных включает в себя выбор объекта, временной зоны; линий, участвующих в обработке; выбор опорной станции; задание начальных координат опорной станции, выбор интервалов времени для полевых данных, включаемых в обработку. Выбор параметров вычислений включает в себя корректировку угла отсечки; выбор тропосферной модели; выбор ионосферной модели; выбор варианта использования эфемерид; выбор используемых данных (код, фаза); выбор комбинации частот; выбор максимальной длины вычисляемой линии; корректировка априорного значения средней квадратической ошибки.

Координаты выбранного местоположения опорной станции для вычисления базисных линий должны быть известны с точностью в пределах 1-5 м. Большие ошибки в координатах местоположения опорной станции могут привести к ошибкам при вычислении базисных линий, ошибкам масштаба, элементов разворота и сказаться на неудачном разрешении неоднозначности. В режиме обработки отдельной линии один из пунктов является исходным, а второй - определяемым. В качестве исходного используется пункт, имеющий полные значения координат в геоцентрической системе с необходимой точностью.

При условии успешного разрешения неоднозначности в протокол обработки записываются как разности, так и предварительные полные значения геоцентрических координат определяемого пункта, а также длины линий вместе со средними квадратическими ошибками вычисленных величин, определенными на основе использования внутренней сходимости обрабатываемых данных. Такая информация сохраняется в базе данных. Если координаты определяемого пункта вычислены с

нескольких исходных пунктов, разность координат из различных решений не должна превышать установленный в программе обработки допуск.

Выполняется сравнение длин линий, полученных из предварительной обработки спутниковых измерений и редуцированных в местную систему координат, с длинами линий, вычисленными по значениям координат пунктов из ранее выпущенных каталогов.

Камеральная обработка и уравнивание спутниковых измерений

Технологическая схема обработки спутниковых городских геодезических сетей состоит из следующих укрупненных процессов:

- вычисление и уравнивание геоцентрических координат пунктов каркасной сети;
- вычисление линий каркасной сети на физической поверхности Земли;
- передача геоцентрических координат и линий каркасной сети (КС) для включения в государственную геодезическую сеть в предприятие Роскартографии, ответственное за уравнивание государственной геодезической сети.

- включение КС города в сеть ГГС при очередном этапе уравнивания.

Вновь полученные после совместного уравнивания координаты пунктов ГГС могут использоваться для уравнивания городской сети в государственной системе координат (ГСК) и получения каталогов в этой системе без искажения результатов спутниковых измерений. До получения новых координат пунктов каркасной сети в государственной системе «ключ» перехода и каталог координат считаются предварительными. Параллельно с передачей в предприятие Роскартографии, ответственное за уравнивание государственной геодезической сети, геоцентрических координат и линий приступают к обработке спутниковой сети в местной системе координат (МСК) города.

Обработка и уравнивание пунктов каркасной сети (КС) в местной системе координат (МСК) города включает следующие основные этапы:

- преобразование геоцентрических координат пунктов КС в предварительные референсные (плоские прямоугольные) в ГСК по точным формулам (см. "Аппаратура радионавигационной глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования. Системы координат. Методы преобразования определяемых точек. Государственный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р 51794-2001").

- преобразование предварительных плоских прямоугольных координат пунктов каркасной сети из ГСК в МСК по старым параметрам местной системы координат.

Обработка и уравнивание пунктов спутниковой городской геодезической сети (СГГС) включает следующие основные этапы:

- обработка и уравнивание пунктов СГГС в геоцентрической системе координат;
- обработка и уравнивание пунктов СГГС в местной системе координат;

- анализ расхождений координат в местной системе на совмещенных пунктах;
- уточнение параметров местной системы координат и при необходимости выполнение еще одного цикла камеральной обработки.

Допускается выполнение камеральной обработки и уравнивания пунктов СГГС в геоцентрической системе координат с использованием программ, сертифицированных для применения на территории Российской Федерации, и позволяющих выполнять обработку линий длиной не менее 100 километров с использованием на всех пунктах данных одного сеанса наблюдений.

Камеральная обработка и уравнивание пунктов СГГС в местной системе координат может выполняться по двум схемам:

- уравнивание трилатерации (линейно-угловой сети) в местной системе координат,
- преобразования координат по точным формулам.

Уравнивание трилатерации в местной системе координат выполняется по следующей технологии:

- определение всех непосредственно измеренных линий в сети;
- отбор из общего числа линий тех, которые удовлетворяют требованиям к конфигурации геодезической сети (по критериям длин линий, углов в треугольниках, жесткости геометрических фигур и т. д.);
- вычисление наклонных длин отобранных линий на физической поверхности Земли;
- редуцирование наклонных длин линий на поверхность относимости местной системы координат (эллипсоид, плоскость в трех или шестиградусной зоне, плоскость местной системы координат с условной высотой и условным осевым меридианом, средний уровень города и т.д.);
- уравнивание и оценка точности полученной сети трилатерации с использованием одной из известных программ уравнивания геодезических сетей.

По второму способу координаты пунктов СГГС могут быть получены путем преобразования уравненных геоцентрических координат в ГСК, а затем из ГСК в МСК. На первом этапе преобразования участвуют существующие (принятые ранее) параметры перехода (ключа) от ГСК к МСК. В каждом варианте необходимо выполнить анализ расхождений координат на совмещенных пунктах. Следует по возможности избегать масштабирования результатов спутниковых измерений, максимально используя высотное редуцирование результатов измерений на поверхность относимости местной системы координат по полным формулам и при необходимости изменять его значение в ключе местной системы координат. Если расхождения координат на совмещенных пунктах

превышает 8-10 см, производится уточнение параметров местной системы координат с целью минимизация расхождений.

На следующем этапе повторяется процедура преобразования координат пунктов КС из ГСК в МСК по уточненным параметрам, уравнивание трилатерации СГГС (по первому варианту) либо преобразование геоцентрических координат в ГСК и МСК (по второму варианту), анализа расхождений координат на совмещенных пунктах и уточнение параметров местной системы координат. При допустимом расхождении координат на совмещенных пунктах процесс уравнивания и установление параметров местной системы координат считается завершенным.

При установлении окончательных параметров местной системы координат составляется схема деформации старой сети (изолиний расхождения координат). Схема составляется для определения объемов внесения исправлений в выполненные топографические съемки в масштабах 1:500 и 1:1000 (в большей степени в масштабе 1:2000), а также объемов всякого рода разбивочных работ.

При преобразовании координат пунктов из государственной в местную должны быть учтены следующие данные:

- долгота осевого меридиана местной системы;
- значения координат начального пункта в местной системе;
- значения координат начального пункта в государственной системе;
- угол поворота оси местной системы координат относительно государственной;
- значение поверхности относимости местной системы координат, к которой

отнесены измерения.

В случае если окончательные координаты пунктов каркасной сети (КС) в ГСК будут получены до завершения обработки в МСК, работы повторяются от преобразования координат из ГСК в МСК и далее по циклу до установления окончательных параметров местной системы координат.

В случае, если окончательные координаты пунктов каркасной сети (КС) в ГСК будут получены через продолжительное время, то для получения окончательных координат пунктов каркасной сети (КС) и спутниковой городской геодезической сети (СГГС) в ГСК и установления окончательных параметров местной системы координат необходимо выполнить уравнивание спутниковой городской геодезической сети (СГГС) в ГСК или преобразование геоцентрических координат СГГС в плоские прямоугольные в ГСК по параметрам, полученным для каркасной сети (КС), и установить окончательные параметры МСК.

Если геодезическая сеть создается не на всем участке, а как дополнение к ранее созданной сети, то допускается использовать в качестве исходных пункты каркасной и спутниковой городской геодезической сети. В этом случае спутниковой городской геодезической сети присваивается 2 класс (СГГС-2) до момента последующего включения этих сетей в совместное уравнивание, когда они войдут в городской каталог как пункты спутниковой городской геодезической сети 1 класса (СГГС-1).

По окончании вычислений все материалы должны быть надлежащим образом оформлены для последующего использования при составлении каталогов координат и высот и технических отчетов о геодезических работах. Отчётные материалы обработки спутниковых сетей сдаются на хранение в электронном виде и бумажных носителях. По результатам работ сдается краткий технический отчет о выполненной камеральной обработке и уравнивании.

Совместное уравнивание городских геодезических сетей

По окончании обработки спутниковых городских геодезических сетей выполняется совместное уравнивание полигонометрии работ разных лет. При этом полигонометрия 4 класса уравнивается в государственной и местной системах координат, а полигонометрия 1 и 2 разрядов - в местной системе координат. Переуравнивание прежней сети любой точности производится по материалам ранее выполненных измерений. Совместное уравнивание выполняется с применением современных электронно-вычислительных машин и сертифицированных программных продуктов. Вычисления ведутся в уже установленной для данного города системе координат. Переуравнивание не сохранившихся пунктов триангуляции ранее исполненных работ не выполняется, т.к. их при полевых работах заменяют новыми пунктами СГГС с установлением связи со старыми ходами полигонометрии.

Погрешность стороны в самом слабом месте геодезической сети не должна превышать:

- 1:50 000 при развитии сети 4 класса;
- 1:20 000 при развитии сети сгущения 1 разряда;
- 1:10 000 при развитии сети сгущения 2 разряда.

В качестве исходных для совместного уравнивания геодезического обоснования используются координаты пунктов каркасной и спутниковой городской геодезической сетей. Городская геодезическая сеть должна вставляться в жесткий контур уравненных пунктов спутниковой городской геодезической сети. При выполнении работы по уравниванию сети, как правило, не допускается разрыв в сплошности связей (образование "окон") с исходными пунктами. Во избежание образования "окон" допускается

использовать в качестве связей между пунктами ранее исполненных сетей и исходными пунктами часть ходов дополнительно создаваемой полигонометрии 4 класса.

В тех случаях, когда по каким-либо причинам совместное уравнивание не может быть произведено, следует сеть полигонометрии 4 класса уравнивать самостоятельно, приняв в качестве исходных пункты каркасной и спутниковой городской геодезической сети. Полученные из уравнивания координаты пунктов полигонометрии 4 класса, также как и пункты КС и СГГС могут служить в качестве исходных для переуравнивания сети 1 и 2 разрядов.

Средняя квадратическая погрешность измеренного угла в полигонах и замкнутых ходах полигонометрии вычисляется по формуле:

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{\left[\frac{f_{\beta}^2}{n} \right]}{N}},$$

для сети с узловыми пунктами при отсутствии замкнутых полигонов вычисляют по формуле:

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{\left[\frac{f_{\beta}^2}{n} \right]}{N - k}},$$

где f_{β} - угловая невязка в полигоне или ходе;

n - число измеренных углов;

N - число полигонов или ходов;

k - число узловых точек;

При малом числе полигонов значение средней квадратической ошибки (погрешности) измеренного угла при уравнивании сетей выбирается по типу используемых инструментов и приборов.

Обработка нивелирной сети производится в полном соответствии с действующей "Инструкцией по вычислению нивелировок". Вычисление и уравнивание нивелирования всех классов и тригонометрического нивелирования производится в Балтийской системе высот 1977 года или, в особых случаях, в местной системе высот. При наличии первичных материалов на ранее созданную нивелирную сеть новая того же класса уравнивается совместно с ней. Линии нивелирования IV класса уравниваются после уравнивания высшего класса. По окончании вычислений все материалы должны быть надлежащим образом оформлены для последующего использования при составлении каталогов

координат и высот и технических отчетов о геодезических работах. Отчётные материалы обработки сдаются на хранение в электронном виде и на бумажных носителях.

Примерные контрольные тесты.

1. Могут ли пункты СГГС-1 закладываться в виде стенных марок
да
нет
2. Могут ли центры пунктов СГГС-2 быть заложены центрами как глубокого, так и мелкого заложения
Да
Нет
3. На каркасных сетях допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников
Односистемных двухчастотных
Односистемных одночастотных
Верны все ответы
4. На СГГС-1 допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников
Односистемных двухчастотных
Односистемных одночастотных
Верны все ответы
5. На СГГС-2 допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников
Односистемных двухчастотных
Односистемных одночастотных
Верны все ответы

**Рабочая программа полевых работ
по развитию планового съёмочного обоснования для съёмки масштаба 1:500 с
высотой сечения рельефа через 0,5 м**

Объект: город Москва, Северо-Западный административный округ, муниципальный район «Головинский».

Аппаратура: приёмники «Землемер Л1»:

приёмник № 1 - контроллер CR-33 № 99922, датчик SR-61 № 054;

приёмник № 2 - контроллер CR-33 № 99931, датчик SR-61 № 043;

приёмник № 3 - контроллер CR-33 № 99884, датчик SR-61 № 031.

Программное обеспечение для ЭВМ: программный пакет BL-L1, входящий в комплект приёмника «Землемер Л1».

Продолжительность приёма и интервал регистрации

Продолжительность приёма и интервал регистрации Метод спутниковых определений	Число наблюдаемых в приёме спутников	Продолжительность приёма, мин.	Интервал регистрации, с
Быстрый статический	4	≥ 20	15
	5	$10 \div 20$	
	6 и более	$5 \div 10$	
Реокупация	4	$5 \div 10$	15

Порядок производства работ на пунктах объекта, методы

время выполнения работ № сеанса	Условные номера приёмников / названия (номера) пунктов геодезической основы или съёмочного обоснования	Применяемый метод спутниковых определений	Дата и интервалы времени, оптимальные для спутниковых определений	
			начало	конец
1	1 / Детский сад 2 / Префектура 3 / 1075 (баз. ст.)	Быстрый статический	10.09.97 10 ч	10.09.97, 16 ч
2 / 5	1 / 1083 2 / Школа 3 / 1075 (баз. ст.)	реокупация	10.09.97, 11 ч	10.09.97, 15 ч
3	1 / 1083 2 / Школа (баз. ст.) 3 / Детский сад	Быстрый статический	10.09.97, 11 ч	10.09.97, 15 ч
4	1 / 1083 (баз. ст.) 2 / Школа 3 / Префектура	Быстрый статический	10.09.97, 12 ч	10.09.97, 18 ч
6	1 / Детский сад (баз. ст.) 2 / Школа	Быстрый статический	10.09.97, 14 ч	10.09.97, 20 ч

**Рабочая программа полевых работ
по съёмке ситуации и рельефа масштаба 1:500
с высотой сечения рельефа через 0,5 м**

Объект: город Москва, Северо-Западный административный округ,
муниципальный район «Головинский».

Аппаратура: приёмники «Землемер Л1»:

приёмник № 1 - контроллер CR-33 № 99922, датчик SR-61 № 054;

приёмник № 2 - контроллер CR-33 № 99931, датчик SR-61 № 043.

Программное обеспечение для ЭВМ: программный пакет BL-L1, входящий в комплект приёмника «Землемер Л1».

Метод спутниковых определений - кинематический, способ «стой-иди».

Продолжительность приёма - 20 с.

Интервал регистрации - 5 с.

Порядок производства работ на объекте, время выполнения работ № участка	Условные номера приёмников / название (номер) пункта установки базовой станции	Дата и интервалы времени, оптимальные для спутниковых определений	
		начало	конец
1	1 / 1516 (баз. ст. [*]) 2 / (подв. ст. ^{**})	17.09.97, 10 ч	17.09.97, 16 ч
2	1 / 1426 (баз. ст.) 2 / (подв. ст.)	17.09.97, 11 ч	17.09.97, 15 ч
3	1 / 1007 (баз. ст.) 2 / (подв. ст.)	17.09.97, 11 ч	17.09.97, 15 ч

**Образец заполнения журнала съёмки ситуации и рельефа с применением
спутниковой технологии**

Номер участка 1

Объект «Головинский»

Организация ЦНИИГАиК

Приближенные координаты:

B= 56°

L= 38°

H= 120 м.

Наблюдатель Ануфриев

Дата наблюдений 17.09.97 г.

№ сеанса 1

Имена файлов

наблюдений Isurvey

Тип и номер

приемника «Землемер Л1» CR-33 № 99931

Тип и номер

антенны SR-61 № 043

Пункты установки базовых

станций 1516

Начало сеанса 11h 07m Конец сеанса 11^h 30^m

Интервал наблюдений (факт) 23m

Дискретность 20 с

Маска 15°

t возд 10°C

Высота антенны 180 см, 70,9 дюймов.

Условия наблюдений на объекте:

наличие препятствий, линий электропередач, радиолокационных станций, др.

Имеются высокие деревья

Примечание _____

	Примечание
№№ пикетов	
1	<i>ось дорожки</i>
2	<i>– ” –</i>
3	<i>перекрёсток дорожек</i>
4	<i>берег пруда</i>
5	<i>– ” –</i>
6	<i>– ” –</i>

Глоссарий основных терминов и понятий

(ГОСТ Р 52928-2008 «Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения», *сокр.*)

альманах ГНСС: Информация, передаваемая с каждого навигационного космического аппарата ГНСС в составе навигационного сообщения, включающая в себя данные о системной шкале времени ГНСС, данные о бортовых шкалах времени всех навигационных космических аппаратов и данные об элементах их орбит и техническом состоянии.

бортовой эталон времени и частоты навигационного космического аппарата ГНСС: Аппаратура, установленная на борту навигационного космического аппарата ГНСС для формирования и хранения бортовой шкалы времени.

бортовая шкала времени навигационного космического аппарата ГНСС: Шкала времени, формируемая на борту навигационного космического аппарата ГНСС.

вектор состояния потребителя ГНСС: Вектор, элементами которого являются пространственные координаты, составляющие вектора скорости и поправка часов потребителя ГНСС.

видимость навигационного космического аппарата ГНСС: Условие наблюдения навигационного космического аппарата ГНСС, когда его угол возвышения относительно плоскости местного горизонта больше минимального допустимого угла.

геометрический фактор изменения точности определения местоположения потребителя ГНСС в пространстве; PDOP: Коэффициент изменения точности определения пространственных координат потребителя ГНСС, рассчитываемый по формуле

$$PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2}.$$

геометрический фактор изменения точности определения местоположения потребителя ГНСС по вертикали; VDOP: Коэффициент пропорциональности между среднеквадратической погрешностью определения высотной составляющей местоположения потребителя ГНСС σ_h и среднеквадратической погрешностью определения псевдодальности до навигационного космического аппарата ГНСС $\sigma_{пд}$, рассчитываемый по формуле

$$VDOP = \frac{\sigma_h}{\sigma_{пд}}.$$

геометрический фактор изменения точности определения местоположения потребителя ГНСС по горизонтали; HDOP: Коэффициент пропорциональности между среднеквадратической погрешностью определения горизонтальных координат σ_x и σ_y

потребителя ГНСС и среднеквадратической погрешностью определения псевдодальности до навигационного космического аппарата ГНСС $\sigma_{\text{пд}}$, рассчитываемый по формуле

$$HDOP = \frac{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}}{\sigma_{\text{пд}}}.$$

геометрический фактор изменения точности определения поправки часов потребителя ГНСС; TDOP: Коэффициент пропорциональности между среднеквадратической погрешностью определения расхождения бортовых шкал времени навигационных космических аппаратов ГНСС и шкалы времени навигационной аппаратуры потребителя ГНСС $c\sigma_{\Delta T}$, умноженной на скорость света c , и среднеквадратической погрешностью определения псевдодальности до навигационного космического аппарата ГНСС $\sigma_{\text{пд}}$, рассчитываемый по формуле

$$TDOP = \frac{c\sigma_{\Delta T}}{\sigma_{\text{пд}}}.$$

геометрический фактор изменения точности определения местоположения и поправки часов потребителя ГНСС; GDOP: Коэффициент изменения точности определения пространственных координат и поправки часов потребителя ГНСС, рассчитываемый по формуле

глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС): Навигационная спутниковая система, предназначенная для определения пространственных координат, составляющих вектора скорости движения и поправки часов потребителя ГНСС в любой точке на поверхности Земли, акватории Мирового океана, воздушного и околоземного космического пространства.

дальность до навигационного космического аппарата ГНСС: Расстояние между навигационным космическим аппаратом ГНСС и навигационной аппаратурой потребителя ГНСС в некоторый момент времени, полученное посредством измерения времени распространения радионавигационного сигнала по радиолинии «навигационный космический аппарат - навигационная аппаратура потребителя».

кодированное определение псевдодальности до навигационного космического аппарата ГНСС: Определение псевдодальности до навигационного космического аппарата ГНСС путем измерения в аппаратуре потребителя ГНСС временного сдвига между опорной псевдослучайной последовательностью, формируемой в навигационной аппаратуре потребителя ГНСС, и псевдослучайной последовательностью, принятой с борта навигационного космического аппарата ГНСС.

координатно-временное обеспечение ГНСС: Комплекс мероприятий по обеспечению подсистем глобальной навигационной спутниковой системы необходимой информацией о параметрах системы координат и шкалы времени, используемых в глобальной навигационной спутниковой системе.

многолучевость радионавигационного сигнала ГНСС: Эффект, возникающий при приеме навигационной аппаратурой потребителя ГНСС радионавигационного сигнала с одного и того же навигационного космического аппарата ГНСС, но с разными траекториями прохождения вследствие отражения радионавигационного сигнала от поверхности Земли и близлежащих объектов.

навигационный кадр навигационного сообщения ГНСС: Элемент навигационного сообщения ГНСС, в котором содержится навигационная информация о том навигационном космическом аппарате ГНСС, с которого передается данное навигационное сообщение.

навигационный космический аппарат ГНСС (НКА): Космический аппарат, имеющий на борту аппаратуру, предназначенную для формирования и излучения радионавигационных сигналов ГНСС, необходимых потребителю ГНСС для определения пространственных координат, составляющих скорости своего движения и поправки часов.

непрерывность навигационного обслуживания потребителя ГНСС: Способность глобальной навигационной спутниковой системы осуществлять навигационное обслуживание потребителей ГНСС в течение заданного интервала времени без отказов и перерывов.

определение местоположения потребителя ГНСС (*местоопределение потребителя ГНСС*): Определение пространственных координат потребителя ГНСС.

потребитель ГНСС: Объект навигации, решающий навигационную задачу посредством приема и обработки радионавигационных сигналов ГНСС от навигационных космических аппаратов ГНСС.

псевдодальность до навигационного космического аппарата ГНСС: Измеренная дальность до навигационного космического аппарата ГНСС, отличающаяся от геометрической дальности до навигационного космического аппарата ГНСС значением поправки, обусловленной несинхронностью бортовой шкалы времени навигационного космического аппарата ГНСС и шкалой времени навигационной аппаратуры потребителя ГНСС.

радиальная псевдоскорость навигационного космического аппарата ГНСС: Измеренная радиальная скорость навигационного космического аппарата ГНСС относительно потребителя ГНСС, отличающаяся от геометрической радиальной скорости навигационного космического аппарата ГНСС значением поправки, обусловленной

несинхронностью бортовой шкалы времени навигационного космического аппарата ГНСС и шкалой времени навигационной аппаратуры потребителя ГНСС.

радионавигационное поле ГНСС: Электромагнитное поле, создаваемое совокупностью радионавигационных сигналов в обслуживаемом глобальной навигационной спутниковой системой пространстве.

радионавигационный сигнал ГНСС: Многокомпонентный радиосигнал, излучаемый с борта навигационного космического аппарата ГНСС, посредством которого передается навигационная информация.

разрешение неоднозначности фазовых измерений в ГНСС: Определение целого числа длин волн, укладывающихся в расстояние между навигационным космическим аппаратом ГНСС и навигационной аппаратурой потребителя ГНСС при математической обработке фазовых измерений.

секундная коррекция системного времени ГНСС: Операция в технологическом цикле управления глобальной навигационной спутниковой системой, заключающаяся во введении или исключении одной секунды в системной шкале времени ГНСС и осуществляемая одновременно с секундной коррекцией Всемирного координированного времени.

система контроля и управления ГНСС (*сегмент контроля и управления*): Составная часть глобальной навигационной спутниковой системы, включающая в себя комплекс наземных технических средств, обеспечивающих контроль и управление подсистемой навигационных космических аппаратов ГНСС.

система потребителей ГНСС (*сегмент потребителей*): Составная часть глобальной навигационной спутниковой системы, включающая в себя навигационную аппаратуру потребителей ГНСС и потребителей ГНСС.

суперкадр навигационного сообщения ГНСС: Формат передачи навигационного сообщения в глобальной навигационной спутниковой системе, состоящий из заданного числа навигационных кадров навигационного сообщения ГНСС.

частотно-временное обеспечение ГНСС: Комплекс мероприятий, входящих в технологический цикл управления глобальной навигационной спутниковой системой, обеспечивающий синхронизацию бортовых шкал времени навигационных космических аппаратов ГНСС с системной шкалой времени ГНСС.

целостность ГНСС: Способность глобальной навигационной спутниковой системы выдавать потребителям ГНСС своевременное и достоверное предупреждение в тех случаях, когда какие-либо из ее навигационных космических аппаратов нельзя использовать по целевому назначению в полном объеме.

фазовое измерение в ГНСС: Определение псевдодальности от аппаратуры потребителя ГНСС до навигационного космического аппарата ГНСС и радиальной псевдоскорости навигационного космического аппарата ГНСС относительно потребителя ГНСС, проводимое навигационной аппаратурой потребителя ГНСС с использованием информации о фазе несущей частоты, излучаемой с данного навигационного космического аппарата ГНСС.

эфемериды навигационного космического аппарата ГНСС: Система пространственных координат навигационного космического аппарата ГНСС, формируемая в функциональной зависимости от времени.

эксплуатационная готовность ГНСС (*доступность*): Способность глобальной навигационной спутниковой системы обеспечивать проведение навигационных определений в заданный момент времени.

эфемеридная информация ГНСС: Совокупность данных навигационного сообщения, получаемого потребителем ГНСС с борта навигационного космического аппарата ГНСС и позволяющая ему определять пространственные координаты, составляющие скорости движения и поправку часов.